

SPIS TREŚCI

Józef DZIOPAK, Bernadeta HALA: Podstawy obliczania przelewów międzykomorowych wielokomorowych zbiorników kanalizacyjnych	7
Jolanta DŹWIERZYŃSKA: O bezpośredniej konstrukcji rozwinięć panoram walcowych przestrzeni E_3	21
Piotr GAŚKA: Monitoring tensometryczny obwałowań modernizowanego składowiska odpadów komunalnych w Krośnie	37
Marek GOSZTYŁA, Lech LICHOLAŁI: Techniki realizacyjne obiektów budowlanych twierdzy Przemyśl	45
Władysław ŁAKOTA, Aleksander STARAKIEWICZ: Izolacyjność akustyczna i cieplna przegród budowlanych	63
Dorota PAPCIAK, Jadwiga KAŁETA, Alicja PUSZKAREWICZ: Procesy korozyjne w instalacjach miedzianych a jakość wody	73
Dorota PAPCIAK, Justyna ZAMORSKA: Korozja mikrobiologiczna w budynkach powodowana przez grzyby	87
Vyacheslav PISAREV, Bartosz SAŁACIŃSKI, Joanna DREWNIAK: Projektowanie procesów uzdatniania powietrza w systemach klimatyzacji hal basenowych z wykorzystaniem osuszaczy autonomicznych	101
Alicja PUSZKAREWICZ: Oddziaływanie związków chromu na biotyczną część środowiska	117
Janusz RAK: Katastrofy i awarie zapór wodnych	125

Adam RYBKA, Przemysław SUCH: Modeling of the steel structures of the roof of the example civil building	137
Adam RYBKA, Artur OSTAFIJCZUK, Paulina NOWAK: Dzisiejsze tendencje w projektowaniu mieszkań w Polsce	143
Adam RYBKA, Artur OSTAFIJCZUK, Paulina NOWAK: Współczesne zasady kształtowania budynków mieszkaniowych w Polsce	155
Justyna ZAMORSKA, Dorota PAPCIAK: Badania mikrobiologiczne odporności materiałów silikonowych stosowanych w budownictwie	165
Galina KAŁDA, Katerina SOKOŁAN: Wind power value in solving energy problem today (announcement)	175

*Pamięci Profesora
Politechniki Rzeszowskiej
dr. hab. inż. Władysława Łakoty*

Józef DZIOPAK
Bernadeta HALA
Politechnika Rzeszowska

PODSTAWY OBLICZANIA PRZELEWÓW MIĘDZYKOMOROWYCH WIELOKOMOROWYCH ZBIORNIKÓW KANALIZACYJNYCH

Przelewy międzykomorowe wraz z innymi elementami konstrukcji charakteryzującymi wielokomorowe zbiorniki retencyjne stanowią o odmienności tych zbiorników w porównaniu do klasycznych zbiorników jednokomorowych. Umożliwiają one sterowanie przebiegiem procesu akumulacji ścieków w komorze przepływowej, co w konsekwencji prowadzi do uzyskania redukcji wymaganej pojemności zbiorników wielokomorowych. W pracy podano metodykę obliczania i opracowane nomogramy, które pozwalają na szybkie wyznaczenie potrzebnej długości krawędzi przelewu międzykomorowego.

Spis użytych oznaczeń

- ZW* – zbiorniki wielokomorowe
AA – powierzchnia pozioma komory akumulacyjnej, m^2
AP – powierzchnia pozioma komory przepływowej, m^2
QA – dopływ ścieków do zbiornika, dm^3/s
QO – odpływ ścieków ze zbiornika, dm^3/s
QC_n – natężenie przepływu ścieków przez przelew z sąsiedniej komory do komory akumulującej w układzie niezatopionym, dm^3/s
QC_z – natężenie przepływu ścieków przez przelew międzykomorowy w układzie zatopionym, dm^3/s
Dd – średnica kanału dopływowego, m
Ha – wysokość napełnienia ścieków w komorze akumulacyjnej od osi kanału odpływowego, m
Hrz – różnica rzędnych położenia dna kanału dopływowego i odpływowego w przekroju zbiornika, m
Hrp – różnica rzędnych usytuowania krawędzi przelewowej i dna kanału odpływowego zbiornika, m
h – wysokość napełnienia ścieków w komorze przepływowej do osi kanału odpływowego, m
h_a – wysokość usytuowania przelewu od dna komory akumulacyjnej, m

- h_{\max} – maksymalna wysokość napełnienia zbiornika wielokomorowego, m
 h_c – wysokość napełnienia komory przepływowej mierzona od poziomu krawędzi przelewu podczas napełniania komory akumulującej, m
 $h_{c \max}$ – maksymalna wysokość napełnienia ścieków nad przelewem w czasie napełniania komory akumulującej, $h_{c \max} = h_{\max} - h_p$
 h_p – wysokość napełnienia w komorze przepływowej mierzona od osi kanału odpływowego do poziomu usytuowania krawędzi przelewowej, m
 h_n – wysokość napełnienia ścieków w komorze akumulującej nad przelewem zbiornika podczas działania przelewu jako zatopionego, m
 h_z – wysokość odpowiadająca różnicy poziomów zwierciadła ścieków między komorami zbiornika podczas działania przelewu jako zatopionego, m
 b – długość krawędzi przelewowej, m
 g – przyspieszenie ziemskie, m/s^2
 v_0 – prędkość przepływu ścieków przed przelewem, m/s
 TMW – miarodajny czas trwania deszczu do wymiarowania zbiorników wielokomorowych, min
 β – współczynnik redukcji przepływu ścieków w zbiorniku
 μ_1 – współczynnik wydatku przelewu niezatopionego
 μ_2 – współczynnik wydatku przelewu zatopionego dla warstwy niezatopionej ścieków
 a – współczynnik wypełnienia przelewu
 d – współczynnik zależny od μ_1

1. Wprowadzenie

Na obszarach zurbanizowanych coraz większego znaczenia nabiera problem spływu i gospodarki ściekami deszczowymi oraz ogólnospławnymi. Wynika on głównie z rozwoju miast, który ściśle wiąże się ze wzrostem powierzchni utwardzonych, charakteryzujących się wysokim współczynnikiem spływu, kosztem powierzchni terenów zielonych. Konsekwencją tego jest wzrost ilości wód opadowych odpływających do systemów kanalizacyjnych. Znaczne fluktuacje przepływów ścieków w kanałach powodowane opadami mogą mieć niekorzystny wpływ na obiekty oczyszczalni ścieków oraz na stan sanitarny odbiorników. W praktyce często wymusza to konieczność rozbudowy istniejących sieci kanalizacyjnych [1].

W celu zapewnienia efektywności i racjonalnego poziomu regulacji odpływu ścieków, zwłaszcza deszczowych, ze zurbanizowanych zlewni, często zasadne jest lokalizowanie zbiorników retencyjnych na sieciach kanalizacyjnych. W systemach zagospodarowania wód deszczowych oraz odprowadzania ścieków deszczowych i ogólnospławnych stosowane są różne konstrukcje wspomnianych zbiorników, z których na szczególną uwagę zasługują zbiorniki wielokomorowe. Dzięki stosowaniu tego typu obiektów możliwa jest akumulacja tylko tych części przepływów, które przekraczają dopuszczalne natężenia odpływu ścieków ze zbiornika w całym cyklu ich retencjonowania. Obecność zbiorników przyczynia

się także do znacznej redukcji ilości ścieków ogólnospławnych dopływających do oczyszczalni i przez przelewy burzowe do odbiornika.

2. Charakterystyczne cechy konstrukcji wielokomorowych zbiorników retencyjnych

Proponowane rozwiązania konstrukcyjne zbiorników wielokomorowych cechuje duża sprawność kubaturowa komór retencyjnych podczas akumulacji ścieków. Jest to wynik podziału zbiornika klasycznego na dwie zróżnicowane pod względem pełnionej funkcji części: przepływową i akumulacyjną [2]. Wspomniany podział wymaga dodatkowego wyposażenia zbiorników w szereg elementów, które w zależności od analizowanego modelu hydraulicznego zbiornika gwarantują właściwe funkcjonowanie komór we wszystkich fazach ich działania. Do elementów wyposażenia zbiorników wielokomorowych należą [3]:

- przegroda międzykomorowa zakończona w górnej części przelewem,
- klapowe zawory zwrotne,
- układ regulacyjno-upustowy, którego funkcja związana jest z procesem opróżniania górnej komory akumulacyjnej zbiorników grawitacyjno-pompowych,
- układ sterujący działaniem pomp w komorze przepływowej w procesie napełniania górnych i opróżniania dolnych komór zbiorników grawitacyjno-pompowych,
- układ sterujący poziomem ścieków w komorze przepływowej, od którego zależy właściwe działanie komór podciśnieniowych w zbiornikach grawitacyjno-podciśnieniowych,
- kształtki hydrauliczne o kształcie konfuzora i dyfuzora.

Analizując sformułowane modele hydrauliczne podstawowych układów zbiorników wielokomorowych, należy wskazać na złożoność funkcjonowania innowacyjnych rozwiązań w porównaniu ze stosowanymi dotychczas rozwiązaniami. Współdziałanie dodatkowych elementów zbiorników wielokomorowych, zwłaszcza w procesie napełniania poszczególnych komór, wpływa bezpośrednio na ostateczny kształt hydrogramu odpływu ze zbiornika, który zasadniczo odbiega od charakteryzujących odpływ ze zbiorników klasycznych. Z porównania ich kształtów w czasie i w wymiarze ilościowym wynika efektywność kubaturowa badanych typów zbiorników wielokomorowych.

Przedstawione szczegółowe fazy akumulacji ścieków opisane w modelach hydraulicznych ujawniają rzeczywiste możliwości praktycznego wykorzystania zdolności retencyjnej wszystkich elementów stanowiących o odrębności układów hydraulicznych opatentowanych zbiorników, które należy w pełni wykorzystać przy wyborze najefektywniejszego typu zbiornika do realizacji optymalnego wariantu inwestycyjnego [2].

Mając na uwadze ekonomiczne znaczenie tej problematyki i istniejące możliwości uzyskania bardziej funkcjonalnych i szybszych do realizacji wariantów projektowych, a prowadzących w efekcie do wymiernych oszczędności inwestycyjnych dla gospodarki narodowej, opracowano modele hydrauliczne i matematyczne funkcjonowania tych zbiorników. Stały się one podstawą sformułowania algorytmów do wymiarowania zbiorników klasycznych i wielokomorowych, które umożliwiają określanie parametrów projektowych oraz możliwych do uzyskania oszczędności na kubaturze dla dowolnego typu zbiornika w odniesieniu do rozwiązania klasycznego.

3. Przelewy międzykomorowe jako element sterowania procesem akumulacji ścieków

Wykazano istotny wpływ rozmieszczenia, zwłaszcza usytuowania wysokościowego, elementów wyposażenia zbiorników wielokomorowych, a w szczególności przelewów międzykomorowych. Analizując możliwe warianty usytuowania wysokościowego krawędzi przelewowych w zbiornikach, należy w pierwszej kolejności podkreślić zasadniczą rolę, jaką pełni pierwszy przelew, zwany dalej podstawowym, oddzielający wraz z przegrodą najbliższą komorę akumulującą od komory przepływowej. Poziom jego usytuowania wpływa bezpośrednio na przebieg procesu akumulacji ścieków w dowolnym typie zbiornika wielokomorowego i poziom napełnienia w kanale dopływowym. Za optymalne rozwiązanie uważa się usytuowanie przelewu podstawowego na możliwie najwyższym poziomie i to z kilku powodów.

Po pierwsze, ogranicza się do minimum sumaryczny czas działania przelewu oraz poziom wypełnienia komór akumulujących ściekami, co wpływa korzystnie na zmniejszenie obliczeniowej objętości zbiornika. Zatem znacznie częściej ścieki wypełniają tylko komorę przepływową dla przepływów QA zbliżonych do QO_{max} i odpływają wprost do sieci położonej poniżej zbiornika.

Po drugie, takie usytuowanie przelewu wpływa korzystnie na osiągnięty stopień spiętrzenia ścieków w kanale dopływowym. Efektem spiętrzenia ścieków w komorze przepływowej jest częściowe wykorzystanie retencji kanału dopływowego w pierwszej fazie działania zbiorników wielokomorowych. Pełne wykorzystanie zdolności retencyjnej kanału dopływowego może prowadzić niekiedy do znacznego zmniejszenia potrzebnej objętości zbiorników. Ponadto ogranicza się do minimum częstotliwość gromadzenia się zanieczyszczeń w komorach akumulujących, ich ilość i rodzaj w badanym okresie działania zbiornika wielokomorowego, odciążającego hydraulicznie sieć i jej elementy [1].

Zatem można wpływać wymiennie na dalsze zmniejszanie koniecznej pojemności retencyjnej zbiorników kosztem wymuszonego włączenia kanału dopływowego do retencionowania ścieków w fazie napełniania. Kryterium określa-

jącym jednoznacznie położenie przelewu podstawowego jest zapewnienie grawitacyjnego przepływu ścieków w kanale dopływowym, a do spełnienia tego kryterium jest konieczne określenie maksymalnej wysokości napełnienia ścieków nad przelewem $h_{c\max}$. Parametr ten należy określić przed rozpoczęciem numerycznej symulacji procesu akumulacji przy wykorzystaniu odpowiednich modeli matematycznych. O wysokości $h_{c\max}$ decyduje maksymalna chwilowa różnica między dopływem i odpływem ścieków ze zbiornika przy odprowadzaniu ścieków do najbliższej komory akumulacyjnej. Określenie optymalnego położenia krawędzi przelewowej jest możliwe z zależności:

$$h_{c\max} = Hrz + Dd - Hrp \quad (1)$$

przy założeniu granicznego warunku na całkowite wypełnienie kanału dopływowego ściekami.

Wprowadzone usprawnienia konwencjonalnego układu hydraulicznego i rozszerzenie funkcji użytkowych innowacyjnych zbiorników wielokomorowych pozwalają na znaczne zwiększenie wskaźnika wykorzystania ich zdolności retencyjnej, co w efekcie prowadzi do wymiernych oszczędności inwestycyjnych.

4. Obliczanie hydrauliczne przelewów

Dokonując podziału zbiornika tradycyjnego na dwie lub większą liczbę komór za pomocą przegród zakończonych przelewami, uzyskano szereg odmiennych rozwiązań różniących się układami hydraulicznymi [1, 2]. Wydzielenie komory przepływowej i jej usytuowanie w zbiorniku wpływa bezpośrednio na proces napełniania i opróżniania. Pojawia się zatem konieczność podania wzorów do obliczania przepływu ścieków przez przelewy. Z uwagi na złożoność procesu akumulacji ścieków przelewy mogą działać zarówno jako niezatopione, jak i w układzie zatopionym. Jest to uzależnione od wyniku chwilowego bilansu ścieków w zbiorniku i rozpatrywanej fazy działania zbiornika oraz badanych komór.

Za najwłaściwszy i zalecany do realizacji w zbiornikach wielokomorowych uważa się przelew prostokątny bez dławienia bocznego, w którym otwór przelewowy rozciąga się na całej długości komory przepływowej, sąsiadującej z komorą akumulacyjną. Wydatek wspomnianego przelewu, w przypadku gdy działa on jako niezatopiony (rys. 1.), określa zależność [4, 5]:

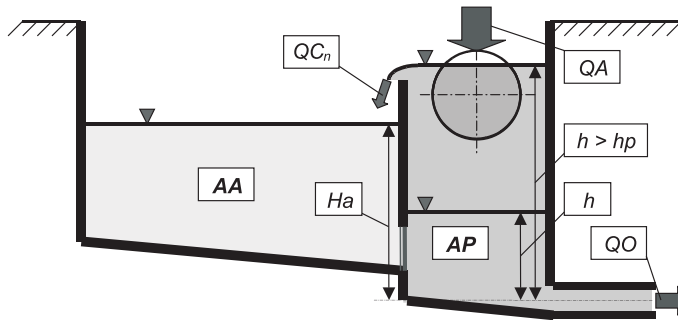
$$QC_n = \frac{2}{3} \mu_1 \cdot b \sqrt{2g} \left[\left(h_c + \frac{v_0^2}{2g} \right)^{1,5} - \left(\frac{v_0^2}{2g} \right)^{1,5} \right] \quad (2)$$

Wzór ten można zapisać również w nieco innej postaci:

$$QC_n = 0,943 \cdot \mu_1 \cdot b \cdot g^{0,5} \left[\left(h_c + \frac{v_0^2}{2g} \right)^{1,5} - \left(\frac{v_0^2}{2g} \right)^{1,5} \right] \quad (3)$$

Pomijając prędkość dopływową do przelewu v_0 , można podać ogólny wzór dla przelewu niezatopionego prostokątnego:

$$QC_n = 0,943 \cdot \mu_1 \cdot b \cdot g^{0,5} \cdot h_c^{1,5} \quad (4)$$



Rys. 1. Model hydrauliczny akumulacji ścieków w fazie początkowego wypełniania komory akumulacyjnej AA zbiornika dwukomorowego przy działaniu przelewu międzykomorowego jako niezatopionego

Z uwagi na specyfikę akumulacji ścieków w zbiorniku w końcowej fazie jego napełniania i w początkowej fazie opróżniania przelew przez pewien czas będzie działał jako zatopiony (rys. 2.). Całkowity wydatek stanowi wówczas sumę wydatku części niezatopionej oraz zatopionej:

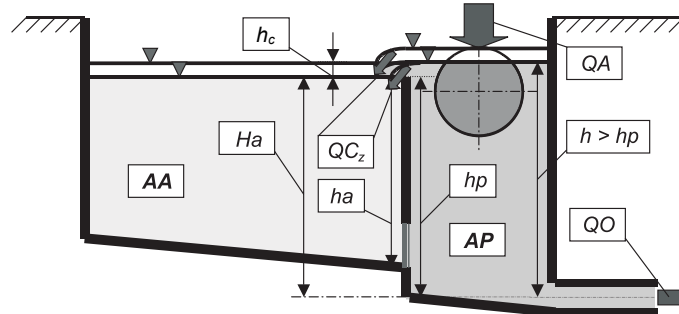
$$QC_z = \frac{2}{3} \mu_1 \cdot b \sqrt{2g} \left[\left(h_z + \frac{v_0^2}{2g} \right)^{1,5} - \left(\frac{v_0^2}{2g} \right)^{1,5} \right] + b \sqrt{2g} \cdot \mu_2 \cdot h_n \left(h_z + \frac{v_0^2}{2g} \right)^{0,5} \quad (5)$$

Bez uwzględnienia prędkości dopływowej wzór przyjmuje postać:

$$QC_z = \frac{2}{3} \mu_1 \cdot b \sqrt{2g} \cdot h_z^{1,5} + \mu_2 \cdot b \cdot h_n \cdot \sqrt{2g} \cdot h_z^{0,5} \quad (6)$$

Na wartość współczynników μ_1 i μ_2 wpływa szereg czynników, do których należy zaliczyć przede wszystkim rodzaj dławienia dolnego i bocznego, sposób zachowania się strumienia ścieków za przelewem, kształt i gładkość korony przelewu oraz powierzchnię komory przepływowej i usytuowanie kanału do-

plywowego [1]. Do zadań realizowanych w praktyce wartość tych współczynników można przyjmować w granicach $\mu_1 \approx \mu_2 = 0,45 \div 0,65$. Oczywiście najbardziej i najkorzystniej jest wyznaczać je każdorazowo w sposób doświadczalny. Biorąc jednak pod uwagę stronę praktyczną działania przelewów w zbiorniku, zaleca się stosować $\mu_1 \approx \mu_2 \approx 0,5$.



Rys. 2. Model hydrauliczny akumulacji ścieków w końcowej fazie wypełniania komory akumulacyjnej AA zbiornika dwukomorowego przy działaniu przelewu międzykomorowego jako zatopionego

Obliczanie potrzebnej długości krawędzi przelewowej umożliwiającej hydrauliczną współpracę komory przepływowej z komorą akumulującą (komorami akumulującymi) ścieki w zbiornikach wielokomorowych można przeprowadzić dwiema metodami, wychodząc z równania na przelew prostokątny niezatopiony.

Pierwsza metoda, znana powszechnie z literatury [4, 5], opiera się na równaniu dla przelewu niezatopionego w ogólnej postaci:

$$b = 0,339 \cdot \mu_1^{-1} \cdot QC \cdot h_c^{-1,5} \quad (7)$$

Przy uwzględnieniu ekstremalnych warunków działania przelewu równanie ma natomiast postać:

$$b = 0,339 \cdot \mu_1^{-1} \cdot QC_{\max} \cdot (h_{\max} - h_p)^{-1,5} \quad (8)$$

Opierając się na przedstawionych równaniach, można obliczyć potrzebną długość przelewu dla narzuconej wysokości maksymalnego napełnienia ścieków nad przelewem $h_{c\max}$, znanego poziomu usytuowania przelewu h_p i znanej wielkości przepływu przez przelew QC_{\max} .

Napełnienie h_{\max} ma istotne znaczenie podczas badania akumulacji ścieków w zbiornikach wielokomorowych, gdyż właściwe jego dobranie gwarantuje grawitacyjny przepływ ścieków w kanale doprowadzającym. Maksymalny poziom napełnienia zbiornika w zasadzie nie powinien być wyższy niż poziom górnej krawędzi stropu kanału dopływowego.

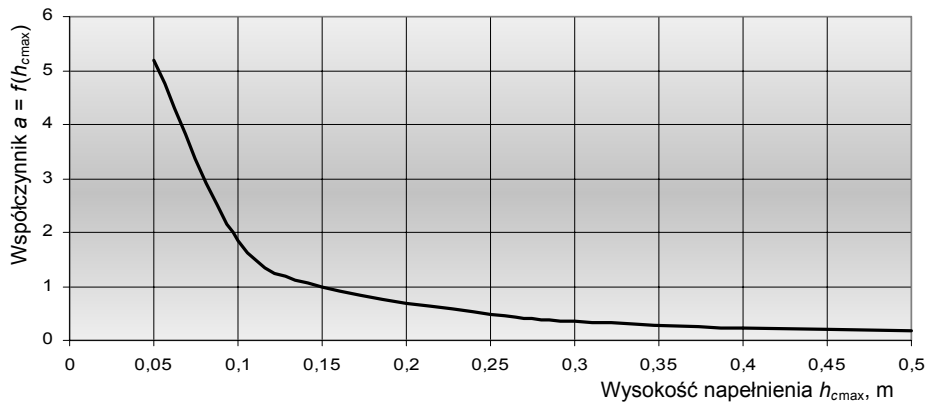
5. Opracowane nomogramy

Niezależnie od przedstawionej metodologii wymiarowania opracowano przybliżoną metodę wyznaczania potrzebnej długości krawędzi przelewowej wewnątrz zbiornika wielokomorowego. Bazując na przeprowadzonej analizie wpływu parametrów określających wydatek przelewu, wyznaczono następującą zależność:

$$b = 0,01 \cdot a(h_{c\max}) \cdot d(\mu_1) \cdot QC_{\max} \quad (9)$$

Wartości parametrów a oraz d , ściśle związanych odpowiednio z wartością maksymalnego napełnienia zbiornika oraz ze współczynnikiem wydatku przelewu, można wyznaczać, korzystając z opracowanych krzywych (rys. 3. i 4.), przepływ QC_{\max} należy natomiast określać za pomocą zależności:

$$QC_{\max} = QA(TMW) \cdot (1 - \beta) \quad (10)$$

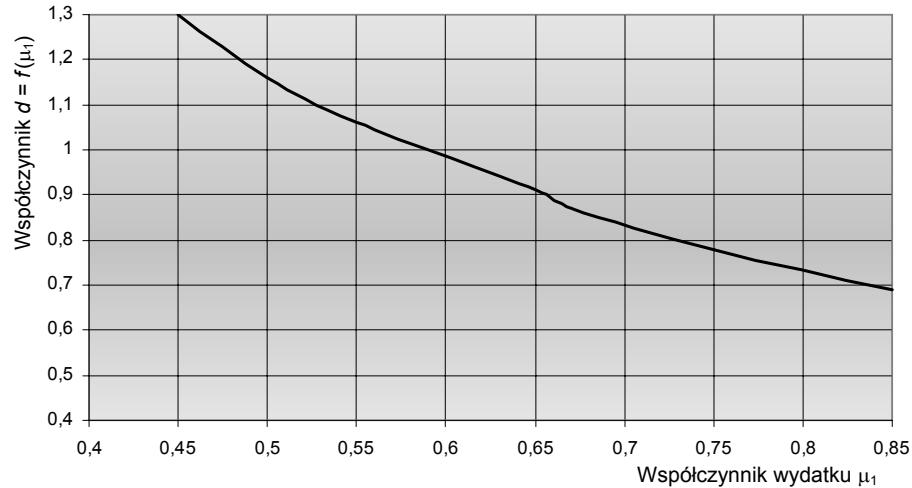


Rys. 3. Zależność współczynnika wypełnienia przelewu a od wysokości wzniesienia zwierciadła ścieków nad przelewem $h_{c\max}$

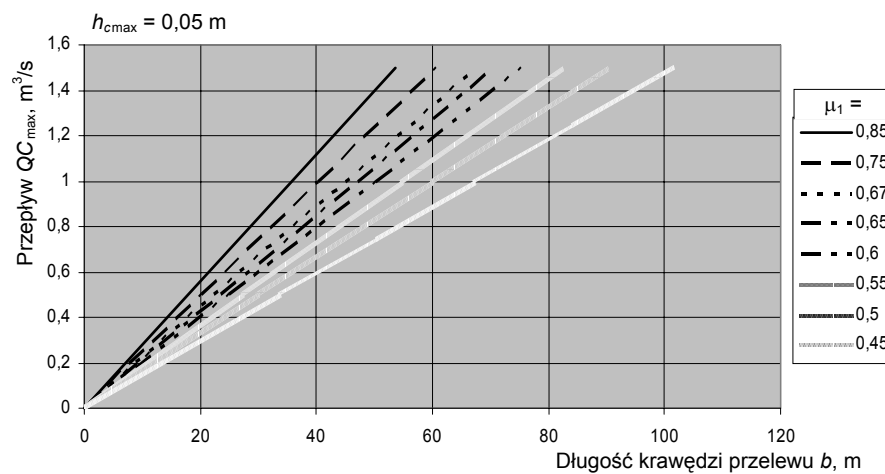
W dalszej części publikacji przedstawiono przykładowe nomogramy, które są przydatne do wyznaczania potrzebnej długości krawędzi przelewu b przy zadanej dowolnie wielkości QC_{\max} , w zależności od założonego poziomu $h_{c\max} = 0,05$ m (rys. 5.), $h_{c\max} = 0,25$ m (rys. 6.) i $h_{c\max} = 0,50$ m (rys. 7.) oraz zmiennej skokowo wartości współczynnika wydatku przelewu μ_1 .

Zestawiono jednocześnie inne nomogramy, które służą do wyznaczania wysokości napełnienia na przelewie h_c przy założonej długości krawędzi przelewu b oraz przepływu ścieków QC . Każdy wykres skonstruowano oddzielnie

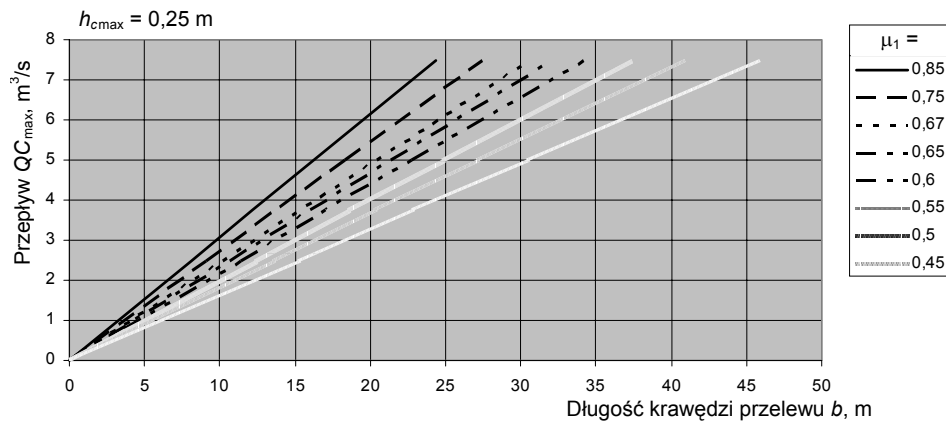
dla różnych wartości współczynnika wydatku μ_1 , mieszczących się w zakresie $0,45 \div 0,85$. W pracy zamieszczono wykresy odpowiadające trzem wybranym wartościom tego współczynnika sprawności hydraulicznej przelewu: $\mu_1 = 0,45$ (rys. 8.), $\mu_1 = 0,55$ (rys. 9.) oraz $\mu_1 = 0,67$ (rys. 10.).



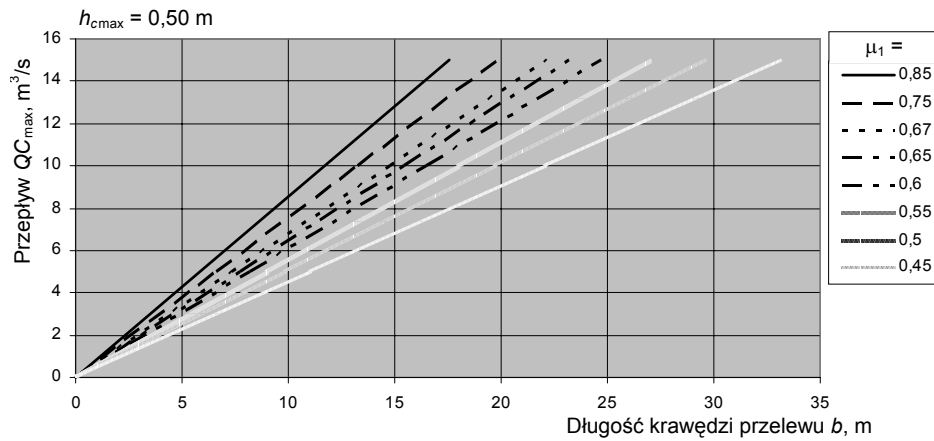
Rys. 4. Zależność współczynnika d od sprawności hydraulicznej przelewu μ_1



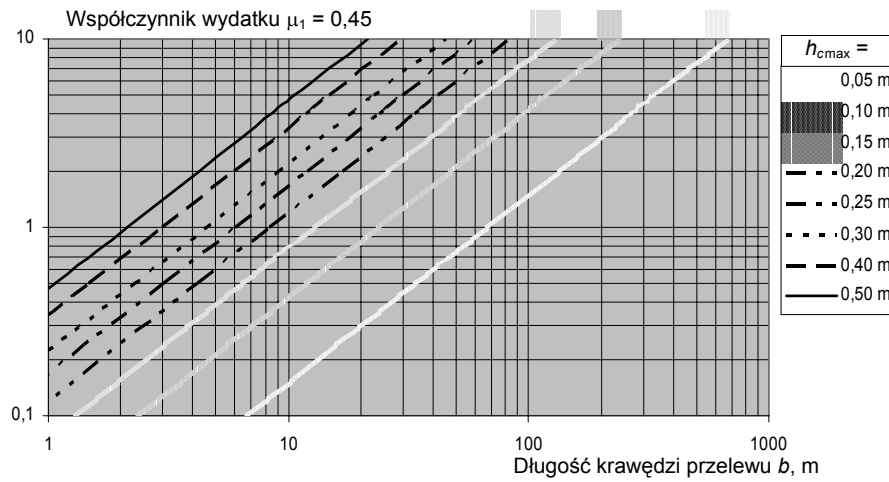
Rys. 5. Zależność długości krawędzi przelewu b od maksymalnego przepływu ścieków QC_{max} , maksymalnego wzniesienia zwierciadła ścieków nad przelewem h_{cmax} i współczynnika wydatku przelewu μ_1 przy $h_{cmax} = 0,05$ m



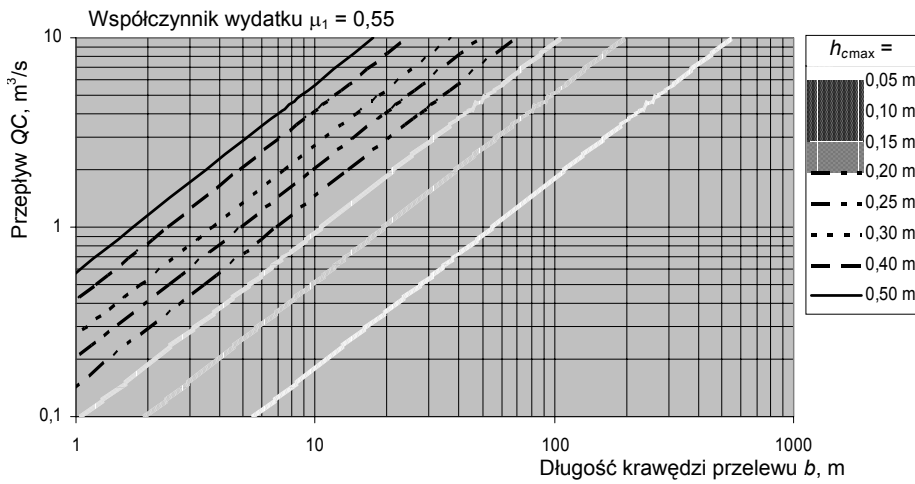
Rys. 6. Zależność długości krawędzi przelewu b od maksymalnego przepływu ścieków QC_{\max} , maksymalnego wzniesienia zwierciadła ścieków nad przelewem $h_{c\max}$ i współczynnika wydatku przelewu μ_1 przy $h_{c\max} = 0,25 \text{ m}$



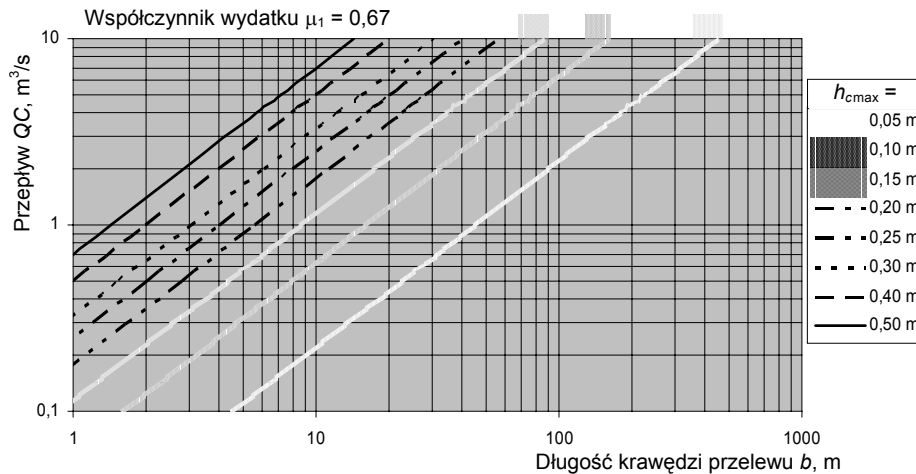
Rys. 7. Zależność długości krawędzi przelewu b od maksymalnego przepływu ścieków QC_{\max} , maksymalnego wzniesienia zwierciadła ścieków nad przelewem $h_{c\max}$ i współczynnika wydatku przelewu μ_1 przy $h_{c\max} = 0,50 \text{ m}$



Rys. 8. Zależność długości krawędzi przelewu b od maksymalnego przepływu ścieków QC_{max} , maksymalnego wzniesienia zwierciadła ścieków nad przelewem h_{cmax} i współczynnika wydatku przelewu przy $\mu_1 = 0,45$ m



Rys. 9. Zależność długości krawędzi przelewu b od maksymalnego przepływu ścieków QC_{max} , maksymalnego wzniesienia zwierciadła ścieków nad przelewem h_{cmax} i współczynnika wydatku przelewu przy $\mu_1 = 0,55$ m



Rys. 10. Zależność długości krawędzi przelewu b od maksymalnego przepływu ścieków QC_{\max} , maksymalnego wzniesienia zwierciadła ścieków nad przelewem $h_{c\max}$ i współczynnika wydatku przelewu przy $\mu_1 = 0,67$

6. Podsumowanie

Przelewy międzykomorowe wielokomorowych zbiorników retencyjnych w kanalizacji są obok innych charakterystycznych elementów ich wyposażenia ważnym składnikiem, który decyduje o odmienności wspomnianych zbiorników od tradycyjnych zbiorników jednokomorowych. Odmienność ta dotyczy przede wszystkim procesu akumulacji ścieków w tych różnych grupach zbiorników. Dzięki zastosowaniu przegrody zakończonej przelewem, oddzielającej część przepływową od części akumulacyjnej, możliwe jest działanie sterujące komory przepływowej, co pozwala na uzyskanie bardzo dobrej sprawności hydraulicznej, a w efekcie wpływa na znaczne zmniejszenie pojemności użytkowej zbiorników wielokomorowych.

Zamieszczone w publikacji nomogramy pozwalają bez wykonywania obliczeń w łatwy i szybki sposób wyznaczyć potrzebną długość krawędzi przelewowej. Mogą stanowić także istotną pomoc podczas rozwiązywania często spotykanych zadań projektowych, jakimi są obliczenia przelewów.

Racjonalne usytuowanie wysokościowe poziomu krawędzi przelewów międzykomorowych zapewnia pełne wykorzystanie zdolności retencyjnej w kanale dopływowym do zbiorników wielokomorowych, czego wymiernym efektem jest redukcja wymaganej pojemności retencyjnej zbiornika o objętość retencyjną kanału dopływowego.

Literatura

1. Dziopak J., *Modelowanie wielokomorowych zbiorników retencyjnych w kanalizacji*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 2004
2. Dziopak J., *Analiza teoretyczna i modelowanie wielokomorowych zbiorników kanalizacyjnych*. Monografia 125, Politechnika Krakowska, Kraków 1992
3. Słyś D., *Wpływ komory przepływowej na funkcjonowanie wielokomorowych zbiorników w systemach kanalizacji grawitacyjnej*. Mat. konf. V Konferencji Naukowo-Technicznej nt. Nowe technologie w sieciach i instalacjach wodociagowych i kanalizacyjnych, Zakład Wodociągów i Kanalizacji Politechniki Śląskiej w Gliwicach, Ustroń, luty 2004
4. Lubczyńska U., *Hydraulika stosowana w inżynierii środowiska*. Politechnika Świętokrzyska, Kielce 2004
5. Czetwertyński E., Utrysko B., *Hydraulika i hydromechanika*. PWN, Warszawa 1969

THE BASIS OF CALCULATION OF OVERFLOWS IN MULTI-CHAMBER STORAGE RESERVOIRS

Summary

The overflows together with other elements of the construction characterizing the multi-chamber storage reservoirs decide about the dissimilarity of these storage tanks in comparison the traditional one-chamber reservoirs. They enable controlling of the process of sewage accumulation what, in consequence, leads to obtaining of the reduction of required capacity of multi-chamber reservoirs. The paper presents the methodology of calculation and elaborated diagrams that allow to estimate a required the necessary length of an edge of an overflows.

Złożono w Oficynie Wydawniczej w lipcu 2007 r.

Jolanta DŹWIERZYŃSKA
Politechnika Rzeszowska

O BEZPOŚREDNIEJ KONSTRUKCJI ROZWINIĘĆ PANORAM WALCOWYCH PRZESTRZENI E_3

W pracy pokazano możliwość bezpośredniej konstrukcji panoramy walcowej w rozwinięciu jej tła, przy zastosowaniu tzw. dwurzutowego, częściowo złożeniowego odwzorowania Z . Dążąc do maksymalnego zbliżenia konstruowanych zapisów do realiów postrzegania wzrokowego obiektów przedstawionych na panoramach, stosuje się w odwzorowaniach panoramowych rzutowania ze środków rozproszonych na okręgu, który jest geometrycznym odpowiednikiem obrzeża platformy widokowej, po której porusza się widz. Ponadto ustala się analityczne algorytmy przebiegu konstrukcji z pomocą odpowiednich procedur działających w ramach programów MathCAD i AutoCAD, co daje możliwość efektywnego zastosowania prezentowanej metody.

1. Wprowadzenie

Analiza klasycznej metody kompozycji obrazu panoramicznego, w której płótno przyszłego obrazu wymaga specjalnej konstrukcji, ramy nadającej mu kształt cylindryczny, nasunęła pomysł tworzenia takiego obrazu na płaskim tle, uzyskanym w wyniku rozwinięcia powierzchni płótna na płaszczyznę. Artyści malarze, tworząc obrazy panoramiczne, odwoływali się przede wszystkim do własnych wyobrażeń przedstawianych obiektów i dokonywali ich graficznego zapisu, często metodą prób i błędów, wspomagając się zasadami rządzącymi tzw. *perspektywą malarzką*. Perspektywa ta ma podstawy teoretyczne w walcowym rzutowaniu panoramicznym, a jej efekty wzbogacane są tzw. perspektywą barw, światła i powietrza, uwzględniającą stan otoczenia, w którym znajdują się przedstawiane obiekty [1].

Współcześnie w twórczości panoramicznej można zauważyć dwa kierunki: z jednej strony powstają panoramy tworzone w klasyczny sposób, ale w pojedynczych egzemplarzach, z drugiej strony następuje dynamiczny rozwój panoram wirtualnych, rozpowszechnionych głównie w sieci Internet. Wyjściowe założenia i cele obydwu form panoram są identyczne: umożliwienie szerokiej widowni sugestywnego oglądania widoków przy odpowiedniej lokalizacji miejsc obserwacji. Każda panorama musi w swej strukturze podporządkować się prawidłom geometrycznym rządzącym zapisem tego rodzaju obrazów.

Analiza dostępnej literatury omawiającej teoretyczne zasady konstruowania obrazów panoramicznych pozwala stwierdzić, że występujące tam przykłady konstrukcji obrazów panoramicznych mają niejako charakter pośredni, ponieważ wymagają pomocniczych zapisów odwzorowywanych obiektów, zrealizowanych np. w rzutach podstawowych metody Monge'a. Przedstawiają one jedynie obiekty geometryczne kształtowane z udziałem wielokątów [2]. W pracy pokazuje się możliwość bezpośredniej konstrukcji panoramy obiektów przestrzeni E_3 w rozwinięciu jej obrotowego walcowego tła przy zastosowaniu odpowiedniego dwurzutowego odwzorowania częściowo złożeniowego i przekształcenia rzutowego powierzchni tła w jej rozwinięciu.

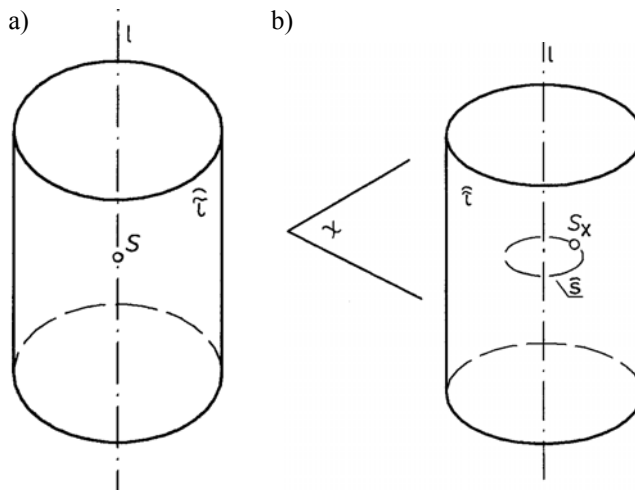
2. Określenie dwurzutowego częściowo złożeniowego odwzorowania panoramicznego Z_p wykorzystywanego do konstrukcji panoram

Dwurzutowe, częściowo złożeniowe odwzorowanie pewnej przestrzeni tworzy się przy udziale dwóch rzutowań – zasadniczego i pomocniczego. Ma ono tę właściwość, że dana figura podlega odwzorowaniu w rzutowaniu zasadniczym oraz dodatkowo jej obraz uzyskany wcześniej w rzutowaniu pomocniczym [3].

W zapisie panoram jako rzutowanie zasadnicze stosuje się *rzutowanie panoramiczne walcowe*, czyli za rzutnię przyjmuje się obrotową powierzchnię walcową, względnie jej fragmenty [4, 5].

W teorii *rzutowania panoramicznego walcowego* wyodrębnia się tzw.:

- jednośrodkowe panoramiczne rzutowanie – R_{WS} ,
- wielośrodkowe panoramiczne rzutowanie – $R_{W\bar{S}}$.

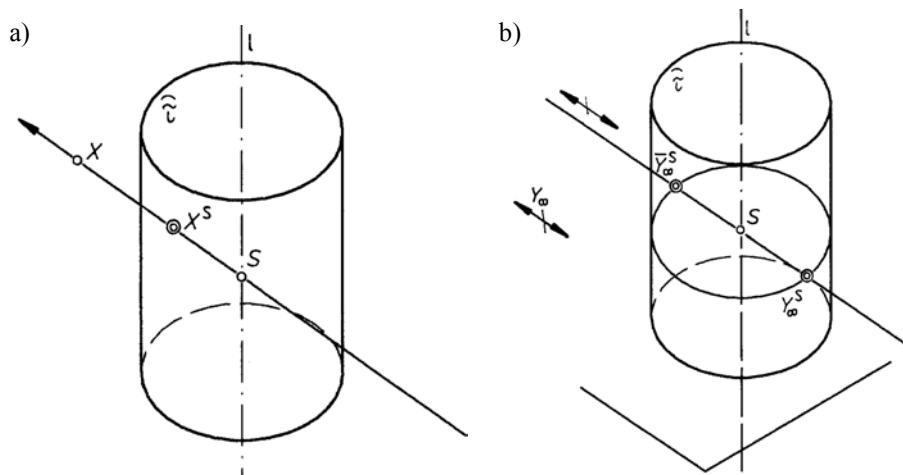


Rys. 1. Aparat walcowego rzutowania panoramicznego: a) jednośrodkowego R_{WS} , b) wielośrodkowego $R_{W\bar{S}}$

Jednośrodkowe panoramiczne rzutowanie walcowe \mathbf{R}_{WS} jest rzutowaniem na tło będące obrotową powierzchnią walcową $\hat{\tau}$ o pionowej osi l , ze środka S wyróżnionego w postaci właściwego punktu osi l (rys. 1a).

Wielośrodkowe panoramiczne rzutowanie walcowe $\mathbf{R}_{W\bar{s}}$ jest rzutowaniem ze środków usytuowanych na okręgu \hat{s} leżącym w płaszczyźnie $\chi \perp l$ i mającym środek należący do osi l tła (rys. 1b). „Uruchomienie” środka rzutowania ma na celu przybliżenie uzyskiwanych obrazów obiektów do realiów postrzegania wzrokowego, ponieważ środek walcowego rzutowania panoramicznego uważa się za geometryczny odpowiednik oczu obserwatora patrzącego na obraz panoramiczny i poruszającego się po torze zbliżonym do okręgu, stanowiącym brzeg platformy widokowej.

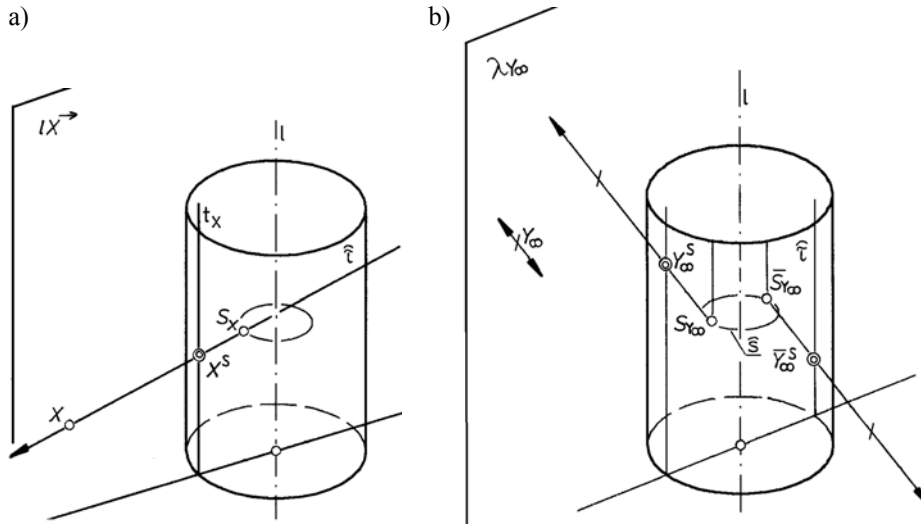
Przy tak zdefiniowanym aparacie rzutem panoramicznym walcowym w rzutowaniu \mathbf{R}_{WS} dowolnego punktu właściwego $X \neq S$ jest punkt X^S , wspólny dla tła $\hat{\tau}$ i półprostej SX^{\rightarrow} (rys. 2a). Obraz dowolnego punktu niewłaściwego $Y_{\infty} \notin l$ jest natomiast sumą dwóch punktów Y_{∞}^{S1} i Y_{∞}^{S2} , w których prosta SY przebija tło $\hat{\tau}$ (rys. 2b).



Rys. 2. Obraz w jednośrodkowym panoramicznym rzutowaniu walcowym \mathbf{R}_{WS} : a) punktu właściwego $X \neq S$, b) punktu niewłaściwego $Y_{\infty} \notin l$

W przypadku rzutowania wielośrodkowego $\mathbf{R}_{W\bar{s}}$ zmienny środek S_X panoramicznego rzutowania przypisywany jest w okręgu \hat{s} wybranemu punktowi właściwemu $X \in \mathbf{M}_3 - \Omega$, poprzez przecięcie okręgu \hat{s} półpłaszczyzną o brzegu l , przechodzącą przez punkt X (rys. 3a). Symbolem Ω jest oznaczone wnętrze nieskończonego walca obrotowego o osi l i przekroju poprzecznym będącym kołem o brzegu \hat{s} . W takiej sytuacji rzutem punktu X w rzutowaniu $\mathbf{R}_{W\bar{s}}$ jest punkt X^S wspólny dla tła $\hat{\tau}$ i półprostej $S_X X^{\rightarrow}$. Z kolei punktowi niewłaściwemu

Y_∞ przypisuje się w okręgu \hat{s} dwa środki rzutowania: S_{Y_∞} i \bar{S}_{Y_∞} , będące punktami przecięcia okręgu \hat{s} płaszczyzną $\lambda_{Y_\infty}(l, Y_\infty)$ (rys. 3b).



Rys. 3. Obraz w wielośrodkowym panoramicznym rzutowaniu walcowym \mathbf{R}_{W_S} : a) punktu właściwego, b) punktu niewłaściwego

Dwurzutowe, częściowo złożeniowe odwzorowanie panoramiczne \mathbf{Z}_p wykorzystywane dalej do kreślenia panoram jest zatem odwzorowaniem, w którym za rzutowanie zasadnicze przyjmuje się jedno- lub wielośrodkowe rzutowanie panoramiczne na tło będące obrotową powierzchnią walcową. Natomiast rzutowanie pomocnicze, zapewniające *restytuowalność* odwzorowania \mathbf{Z}_p jest tutaj albo tak jak w pionowej perspektywie rzutowaniem prostokątnym na wyróżnioną płaszczyznę π prostopadłą do osi l tła $\hat{\tau}$, zwaną *płaszczyzną podstawy* (w przypadku tzw. *panoramy pionowej*), albo normalnym rzutowaniem wiązkoidalnym na tło $\hat{\tau}$ (w przypadku tzw. *panoramy poziomej*).

Uwzględniając wspomniane uwarunkowania, rozróżnia się 4 warianty panoramy walcowej \mathbf{Z}_{pW} , odpowiednio:

- jednośrodkową pionową panoramę walcową \mathbf{Z}_{pW1} ,
- jednośrodkową poziomą panoramę walcową \mathbf{Z}_{pW2} ,
- wielośrodkową pionową panoramę walcową \mathbf{Z}_{pW3} ,
- wielośrodkową poziomą panoramę walcową \mathbf{Z}_{pW4} .

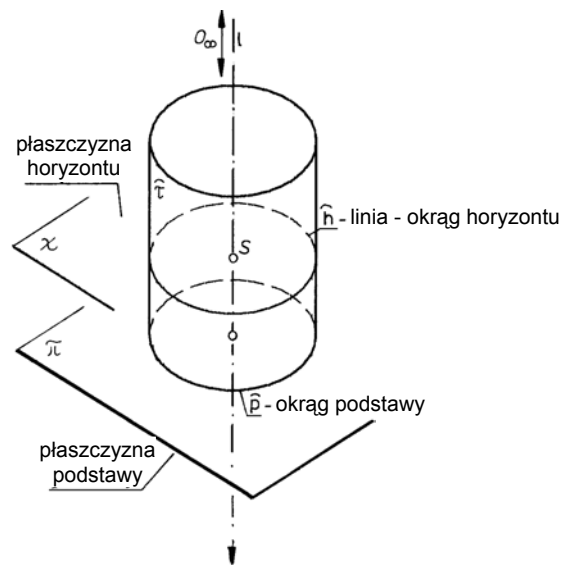
Zróznicowanie to spowodowane jest doborem środka rzutowania oraz rodzajem rzutowania pomocniczego.

3. Sposób wykreślnej konstrukcji panoramy Z_{pW1} w rozwinięciu tła

Opis działań prowadzących do zapisu w rozwinięciu tła obrazu panoramicznego pokazuje się na przykładzie *jednośrodkowej pionowej panoramy walcowej* Z_{pW1} .

Aparat jednośrodkowej pionowej panoramy walcowej składa się (rys. 4.):

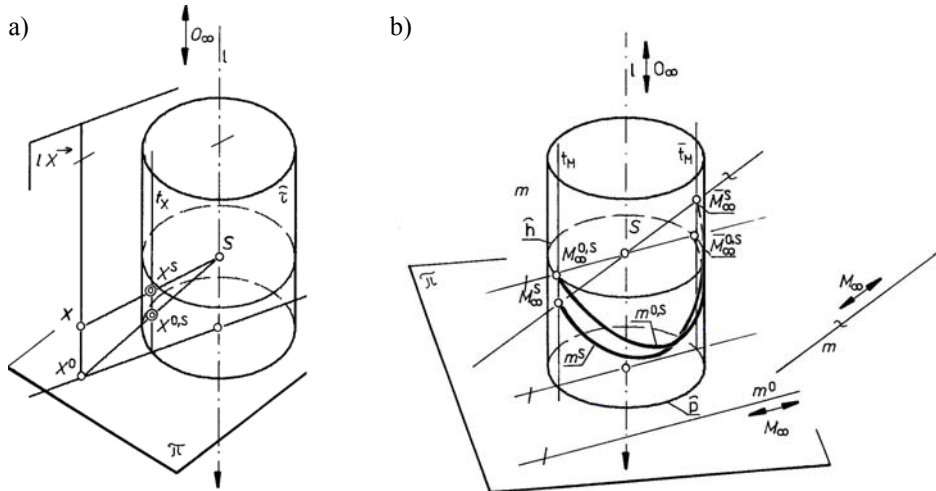
- z aparatu rzutowania zasadniczego, które jest tutaj rzutowaniem R_{WS} na walcowe, obrotowe tło $\hat{\tau}$ o pionowej osi l , ze środka $S \in l$,
- z płaszczyzn χ i π prostopadłych do l , zwanych zwyczajowo odpowiednio *plaszczyzną horyzontu* i *plaszczyzną podstawy*,
- z aparatu rzutowania pomocniczego, które jest rzutowaniem prostokątnym na rzutnię π ze środka $O_\infty \in l$.



Rys. 4. Budowa aparatu jednośrodkowej pionowej panoramy walcowej Z_{pW1}

Obraz dowolnego punktu $X \neq S$ uzyskuje się na tle $\hat{\tau}$, poddając rzutowaniu *zasadniczemu* punkt X oraz punkt X^O otrzymany na płaszczyźnie podstawy π w wyniku zrzutowania punktu X w pomocniczym rzutowaniu (prostokątnym). Obydwa otrzymane rzuty: X^S i $X^{O,S}$ leżą w jednej tworzącej t_X powierzchni, zwanej odnoszącą rzutów (rys. 5a).

Obraz prostej m nieszczególnie usytuowanej względem elementów aparatu odwzorowania składa się natomiast z dwóch zawartych w $\hat{\tau}$ łuków elips: m^S i $m^{O,S}$, których końcami są rzuty S -te i O,S -te punktu niewłaściwego $M_\infty \in m$ (rys. 5b).



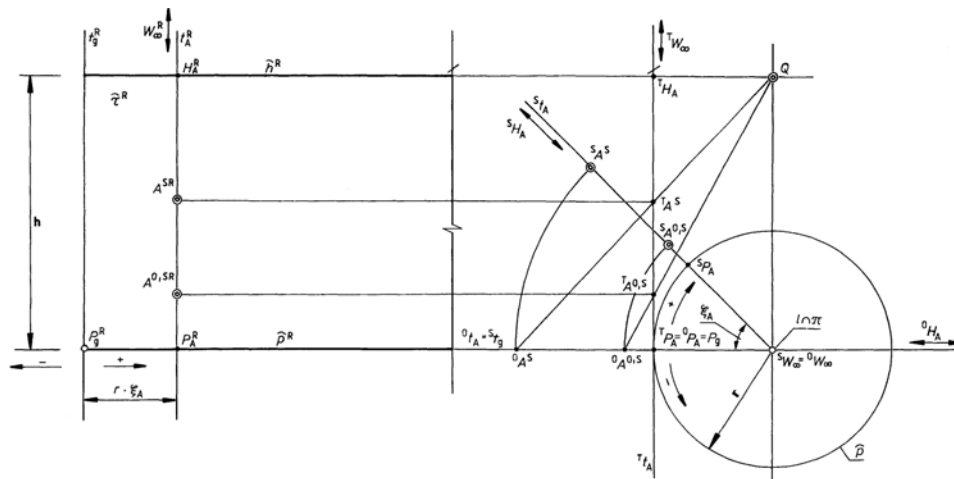
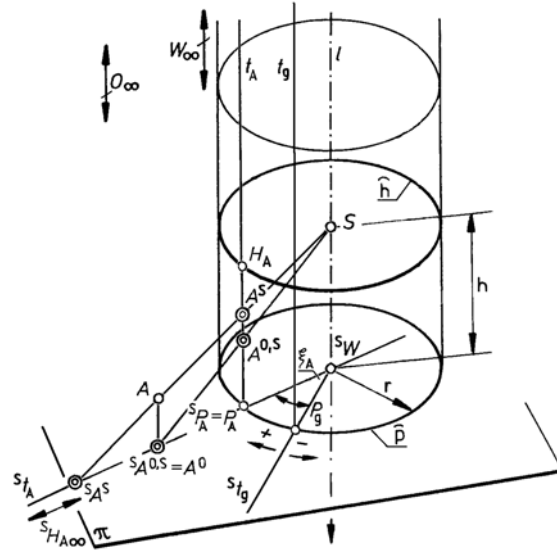
Rys. 5. Obraz w odwzorowaniu Z_{pW1} : a) punktu właściwego X , b) prostej m nieszczerólnie położonej względem aparatu

Znajomość zapisów w odwzorowaniu Z_{pW} punktów i prostych przestrzeni daje teoretyczne możliwości tworzenia na niezdeformowanym tle panoram walcowych figur przestrzeni E_3 . Jednak dla wykreślnego zapisu efektów odwzorowania na płaskiej powierzchni konieczne jest przekształcenie obrazów panoramowych zawartych w tle $\tilde{\tau}$ na ich odpowiedniki w rozwinięciu tego tła. Takie zamierzenie realizuje się, wykorzystując przekształcenie niezdegenerowanego tła w zdegenerowaną powierzchnię powstałą w wyniku zrzutowania ${}_S R$ tła $\tilde{\tau}$ ze środka S na płaszczyznę podstawy π [6].

Na rysunku 6. przedstawione zostały działania geometryczne zmierzające do realizacji opisanego przekształcenia. Na wstępie określa się z dokładnością do izometrii parzystej aparat odwzorowania Z_{pW} , w którego tle wyróżnia się tzw. tworzącą bazową t_g , odnoszącą t_A rzutów pewnego punktu $A \notin l$, a ponadto ustala dodatni obieg pomiaru rozwartości ξ_i kątów obrotów O_i przekształcających tworzącą t_g w pozostałe tworzące t_i tła $\tilde{\tau}$.

Następnie wykreśla się w płaszczyźnie π obraz tła w rozwinięciu z wyróżnionymi w nim obrazami tworzącymi bazowej t_g , tworzącej t_A oraz okręgów podstawy \hat{p} i horyzontu \hat{h} . Obraz tła $\tilde{\tau}$ sytuuje się względem okręgu podstawy \hat{p} tak, że prosta zawierająca okrąg podstawy w rozwinięciu przechodzi przez środek tego okręgu (rys. 7.).

Rys. 6. Sposób rzutowania wiązkowego s^R przykładowej tworzącej t_A wraz z szeregiem punktów $t_A(P_A, H_A, W_\infty, A^S, A^{O,S}, \dots)$ w celu realizacji przekształcenia



Rys. 7. Graficzne zależności pomiędzy obrazem punktu $A^S(A^{O,S})$ w rozwinięciu tła $\hat{\tau}$ a jego zapisem $s^R A^S(s^R A^{O,S})$ w rzutowaniu ze środka S na rzutnię π

Przyjęte ustalenia wraz z wcześniejszymi umowami umożliwiają wykonanie wymienionych dalej działań geometrycznych.

1. Rzutuje się ze środka S na podstawę π tło $\hat{\tau}$, a w szczególności wyróżnione w nim tworzące t_g oraz t_A wraz z ustalonym w t_A szeregiem punktów $\langle \emptyset, t_A \rangle = t_A(P_A, H_A, W_\infty, A^S, A^{O,S}, \dots)$; gdzie P_A należy do okręgu podstawy, H_A do okręgu horyzontu, W_∞ jest wierzchołkiem powierzchni. W wyniku tego

rzutowania uzyskuje się szereg $\langle \emptyset, {}^S t_A \rangle = {}^S t_A ({}^S P_A = P_A, {}^S H_A, {}^S W_\infty, {}^S A^S, {}^S A^{O,S}, \dots)$.

$${}^S \mathbf{R}(\langle \emptyset, t_A \rangle) = \langle \emptyset, {}^S t_A \rangle = {}^S t_A ({}^S P_A = P_A, {}^S H_A, {}^S W_\infty, {}^S A^S, {}^S A^{O,S}, \dots).$$

2. Prostą ${}^S t_A$ i zawarty w niej szereg $\langle \emptyset, {}^S t_A \rangle$ obraca się wokół punktu ${}^S W_\infty$ (z zastosowaniem obrotu \mathbf{O}_A) do jej zjednoczenia z prostą $P_g^R P_A^R$; $\mathbf{O}_A(\langle \emptyset, {}^S t_A \rangle) = \langle \emptyset, {}^O t_A \rangle$,

$$\mathbf{O}_A(\langle \emptyset, t_A \rangle) = \langle \emptyset, {}^O t_A \rangle = {}^O t_A ({}^O P_A, {}^O H_A, {}^O W_\infty = {}^S W_\infty, {}^O A^S, {}^O A^{O,S}, \dots).$$

3. Prostą t_A^R i wyróżniony w niej szereg $\langle \emptyset, t_A^R \rangle \equiv \langle \emptyset, t_A \rangle$ poddaje się trans-

lacji \mathbf{T}_A o wektor $\overrightarrow{P_A^R O P_A^R}$;

$$\mathbf{T}_A(t_A^R) = {}^T t, \mathbf{T}_A(\langle \emptyset, t_A^R \rangle) = \langle \emptyset, {}^T t \rangle = \{ {}^T P_A = {}^O P_A, {}^T H_A, {}^T W_\infty, \dots \}.$$

Z określeń działań wykonanych w punktach 1÷3 wynika, że (rys. 7.) szeregi $\langle \emptyset, {}^T t \rangle$ oraz $\langle \emptyset, {}^O t_A \rangle$ są rzutowe, a ponieważ mają one zjednoczone punkty homologiczne ${}^T P_A = {}^O P_A$, więc rzutowość tych szeregów okazuje się perspektywicznością o środku $Q = {}^T H_A {}^O H_A \cap {}^T W_\infty {}^O W_\infty$.

Reasumując, opisane operacje geometryczne i poczynione w nich ustalenia pozwalają stwierdzić, że określone tam szeregi układają się w następujący ciąg $\{t\}_A$ szeregów perspektywicznych lub przystających w kolejnych parach:

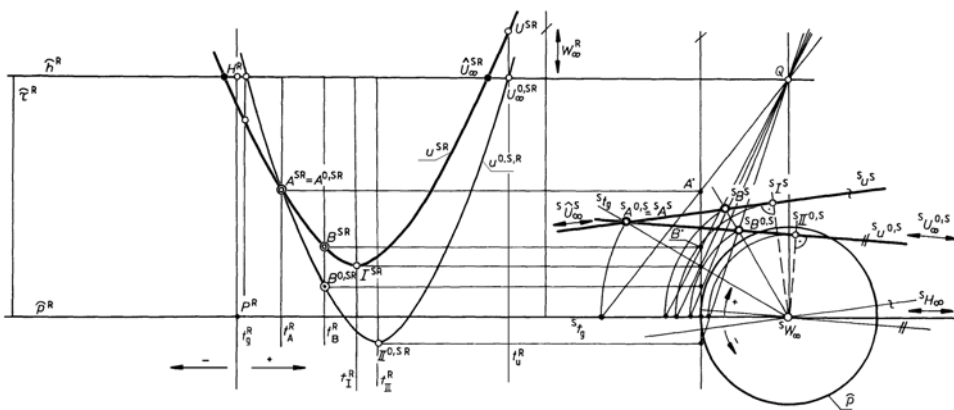
$$\langle \emptyset, t_A \rangle \overset{=} \wedge (S) \langle \emptyset, {}^S t_A \rangle \equiv (\text{obrót } \mathbf{O}_A) \langle \emptyset, {}^O t_A \rangle \overset{=} \wedge (Q) \langle \emptyset, {}^T t \rangle \equiv (\text{translacja } \mathbf{T}_A) \langle \emptyset, t_A^R \rangle.$$

Ciąg $\{t\}_A - \langle \emptyset, t_A \rangle$ przy pokazanym na rys. 7. wzajemnym ułożeniu jego składników daje graficzne powiązania obrazu, np. A^S czy $A^{O,S}$ w rzutowaniu ${}^S \mathbf{R}$ dowolnego punktu A należącego do tworzącej t_A tła $\hat{\tau}$, z jego odpowiednikiem $A^{S,R}$ czy $A^{O,S,R}$ należącym do prostej t_A^R w rozwinięciu tła $\hat{\tau}$ i odwrotnie. Innymi słowy ciąg $\{t\}_A$, w tym ciąg $\{t\}_A - \langle \emptyset, t_A \rangle$ pozwala jednoznacznie przypisać uzyskanemu w odwzorowaniu \mathbf{Z}_{pwl} obrazowi $\{A^S, A^{O,S}\} \subset \hat{\tau}$ dowolnego punktu $A \in M_3 - l$ jego odpowiednik $\{A^{S,R}, A^{O,S,R}\}$ w rozwinięciu tła $\hat{\tau}$ i tym samym dokonać zapisu jednośrodkowej, pionowej panoramy walcowej.

Umiejętność znalezienia obrazu punktu pozwala na zapis prostej $u(A,B)$ ogólnie usytuowanej względem elementów aparatu odwzorowania, przechodzącej przez z góry zadane w rozwinięciu punkty $A^{S,R}, B^{S,R}$ oraz $A^{O,S,R}, B^{O,S,R}$ (rys. 8.).

Ponieważ rzutami *zasadniczym* i *pomocniczym* prostej o założonych właściwościach są łuki elips, to wobec tego odpowiednikami $u^{S,R}$ oraz $u^{O,S,R}$ tych rzutów w rozwinięciu tła $\hat{\tau}$ są łuki $u^{S,R}$ oraz $u^{O,S,R}$ sinusoid przechodzących odpowiednio przez te punkty. W celu ustalenia danych pozwalających jednoznacznie wykreślić łuki sinusoid znajduje się w pierwszej kolejności, za pośrednictwem szeregów punktów na tworzących t_A oraz t_B , zawarte w π rzuty tych punktów, przypisane w rzutowaniu z S na π . Rzuty te wyznaczają rzuty prostej. Ła-

two zauważyć, że punkty ${}^S I^S$ oraz ${}^S II^{0,S}$, będące punktami odpowiednio prostych ${}^S u^S$ i ${}^S u^{0,S}$ leżącymi najbliżej środka okręgu \widehat{p} , są obrazami w rzutowaniu ${}_S R$ punktów przekształconych w rozwinięciu na punkty łuków o ekstremalnym oddaleniu od rozwinięcia okręgu horyzontu \widehat{h} (rys. 8.). Z kolei punktom niewłaściwym ${}^S U_\infty^S$ oraz ${}^S U_\infty^{0,S}$ prostych ${}^S u^S$ oraz ${}^S u^{0,S}$ odpowiadają w rozwinięciu tła $\widehat{\tau}$ punkty należące do linii horyzontu. Znalezione w rozwinięciu punkty ekstremalne i przecięcia łuków sinusoid z linią \widehat{h}^R pozwalają jednoznacznie ustalić wielkości amplitud i okresów tych sinusoid oraz zastosować ogólnie znaną konstrukcję pozwalającą na znalezienie punktów należących do łuków zdefiniowanych sinusoid. Jest to równoznaczne z możliwością zapisania w rozwinięciu tła $\widehat{\tau}$ odpowiednika obrazu panoramowego wyróżnionej prostej. W przypadku prostych zawartych w podstawie rzut ten jest jednoznaczny z daną prostą.

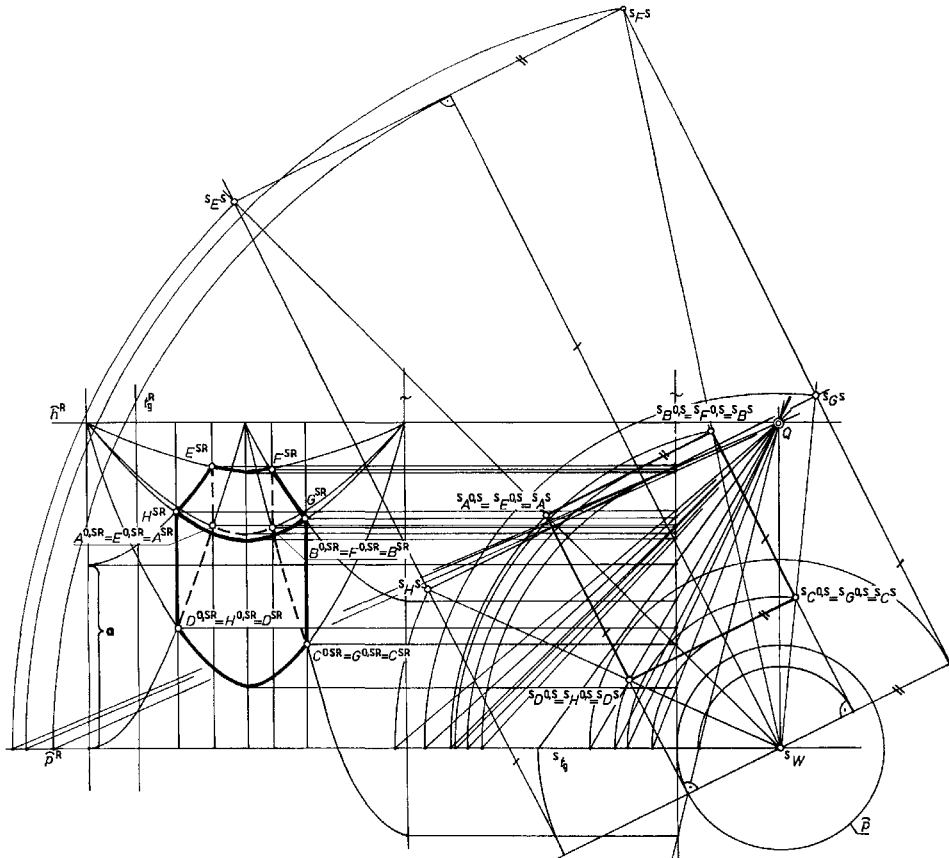


Rys. 8. Zapis odpowiednika w rozwinięciu tła τ obrazu panoramowego prostej $u(A,B)$ uzyskanego w odwzorowaniu Z_{pW1}

Z kolei podczas realizacji zapisu w rozwinięciu tła obrazów panoramowych figur określonych poprzez ich właściwości miarowe podobnie jak w metodzie perspektywy pionowej na płaskie tło, określa się związki pozwalające na zapis w rozwinięciu odpowiedników obrazów panoramowych:

- par prostych równoległych,
- par prostokątnych prostych poziomych,
- odcinków o odpowiednich długościach zawartych w prostych pionowych i poziomych.

Umożliwia to realizację konstrukcji dowolnej podprzestrzeni. Rysunek 9. przedstawia przykładowy sposób wyznaczenia bezpośrednio w rozwinięciu tła klocka sześciennego ustawionego na podstawie π .



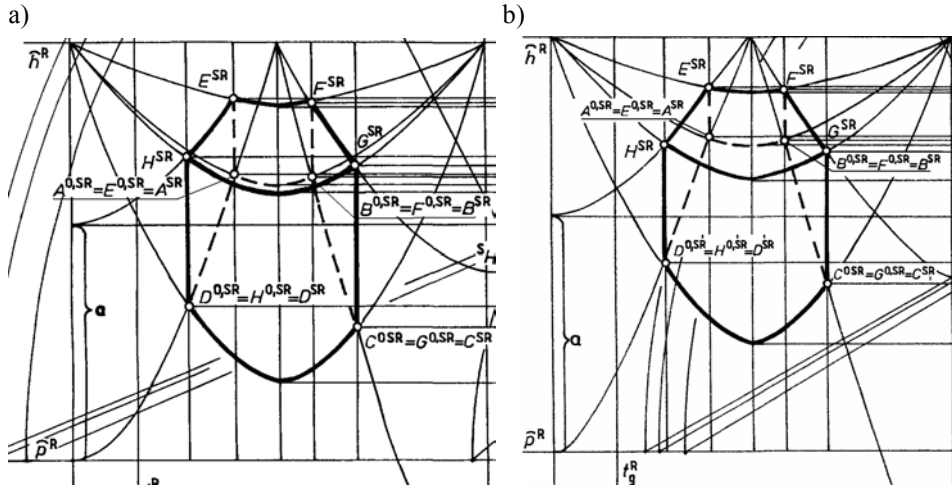
Rys. 9. Zapis w rozwinięciu tła $\hat{\tau}$ odpowiednika obrazu w jednośrodkowej, pionowej panoramie walcowej klocka sześciennego, którego jedna ze ścian zawarta jest w podstawie π

Uwaga: Aby przedstawić całość działań graficznych wynikających z realizowanego odwzorowania, na rys. 9. wykreślono obrazy zarówno krawędzi widocznych, jak i niewidocznych odwzorowywanej figury.

Zapis wszystkich typów panoram można zrealizować w rozwinięciu tła przy wykorzystaniu przedstawionych wcześniej zależności rzutowych. Niewątpliwą zaletą panoram poziomych jest to, że liniowe wymiary pionowych odcinków występujących w odwzorowywanych obiektach zachowane zostają w rzucie pomocniczym, a więc i w rozwinięciu tła. Z kolei najistotniejszą zaletą panoram wielośrodkowych jest fakt, że dają one obrazy panoramowe bliższe efektom postrzegania wzrokowego.

W celu wyeksponowania różnic w obrazach obiektów uzyskanych w obydwu metodach, na rys. 10. zestawiono obok siebie obrazy identycznego klocka sześciennego uzyskane w panoramie jednośrodkowej i wielośrodkowej. Wiel-

kość r_s promienia okręgu \hat{s} , stanowiącego model obrzeża platformy widokowej, w porównaniu do długości promienia r okręgu \hat{p} , stanowiącego model okręgu podstawy rotundy, dobrano, zachowując proporcje zachodzące między tymi wielkościami w typowych rozwiązaniach panoram.



Rys. 10. Zestawienie panoramicznych obrazów klocka sześciennego uzyskanych w metodach: a) jednośrodkowej, b) wielośrodkowej

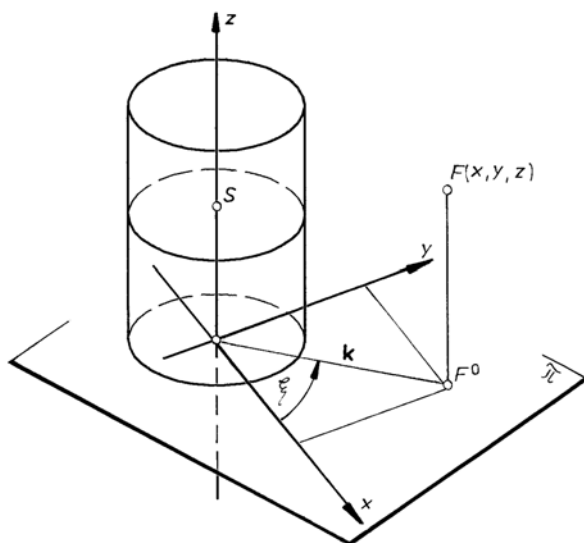
4. Wspomaganie komputerowe przy konstrukcji panoram

Widać, że prezentowana metoda odciętej konstrukcji panoram jest bardzo pracochłonna, realizacji zapisów panoram obiektów bardziej złożonych dokonuje się więc przy wspomaganie komputerowym.

W celu wyprowadzenia analitycznego opisu obrazu panoramowego linii prostej przechodzącej przez dwa punkty w rozwinięciu walcowego tła, uzupełnia się aparat odwzorowania o ortogonalny układ współrzędnych $[x,y,z]$ w taki sposób, że oś z układu jednoczy się z osią wiązkowego tła, natomiast osie x i y umieszcza się w płaszczyźnie π (rys. 11.).

Następną linię zapisuje się w sposób analityczny względem wyróżnionego układu współrzędnych oraz dokonuje transformacji na zapis w rozwinięciu tła, wykorzystując przedstawione wcześniej zależności rzutowe. Analityczny zapis linii w rozwinięciu tła walcowego podaje się w płaskim ortogonalnym układzie współrzędnych.

Te analityczne algorytmy umożliwiają, przy zastosowaniu odpowiednich procedur, zapis w rozwinięciach tła dowolnej figury przestrzennej kształtowanej z udziałem wielokątów przy zastosowaniu programu MathCAD lub właściwie każdej figury przestrzennej kształtowanej przy użyciu linii za pomocą programu



Rys. 11. Sposób usytuowania układu $[x, y, z]$ względem aparatu odwzorowania w celu wyprowadzenia analitycznego opisu obrazu panoramowego

AutoCAD. W zapisie panoram drogą komputerową podaje się jedynie rzut zasadniczy, który decyduje o odbiorze panoramy.

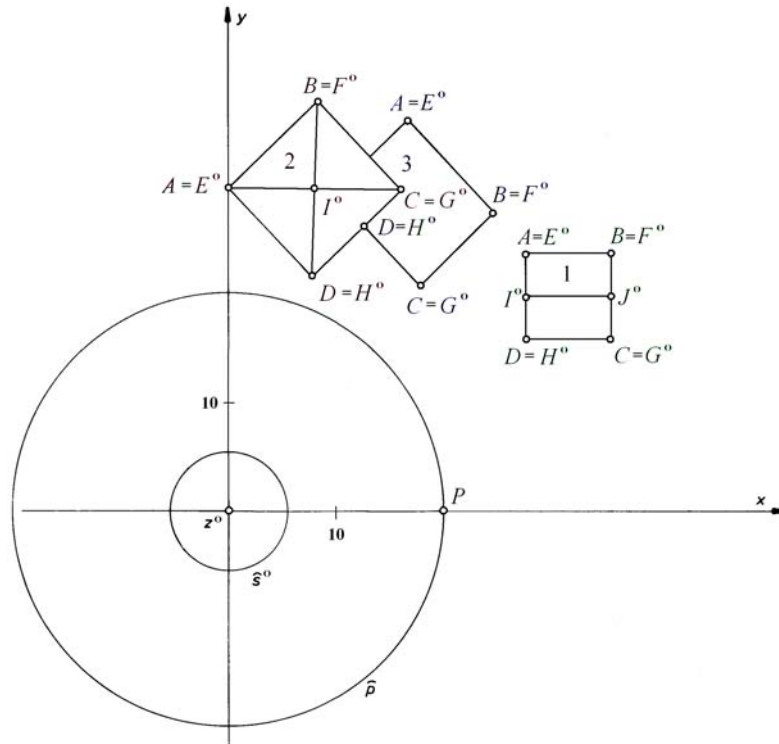
5. Przykład zastosowania programu MathCAD do graficznego zapisu panoramy typu Z_{pw3} na rozwinięciu jej tła

Na rysunku 12. przedstawiono usytuowanie względem aparatu walcowego odwzorowania panoramowego (walcowego tła i płaszczyzny podstawy) przykładowego modelu geometrycznego zespołu obiektów budowlanych. Właściwości miarowe aparatu przyjęto podobne do tych występujących w typowych panoramach, a więc:

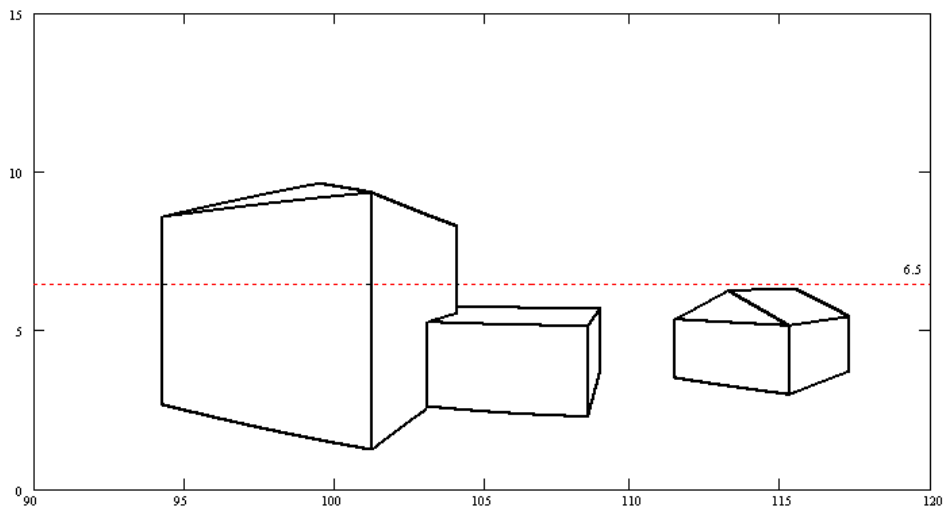
- długość promienia podstawy $r = 20$ m,
- długość promienia platformy widokowej $r_s = 5,5$ m,
- wysokość linii horyzontu $h = 6,5$ m.

Prostokątny kartezjański układ współrzędnych usytuowano względem aparatu odwzorowania zgodnie z przyjętymi wcześniej zaleceniami.

Rysunek 13. ukazuje obraz panoramowy zadanych obiektów, wykreślony w płaszczyźnie rozwinięcia, w szczególności w paśmie między 90. i 120. metrem, licząc od lewej do prawej strony po długości linii \hat{p}^R , przy założeniu, że rozcięcie powierzchni odbywa się wzdłuż tworzącej przechodzącej przez punkt P .



Rys. 12. Sposób lokalizacji modelu geometrycznego obiektów budowlanych względem aparatu walcowego odwzorowania panoramowego oraz względem kartezjańskiego układu współrzędnych



Rys. 13. Zapis w rozwinięciu tła zespołu budynków w wielośrodkowej panoramie walcowej

6. Wnioski końcowe

Rozważania przeprowadzone w niniejszej pracy:

- z jednej strony poszerzają wiedzę o możliwości zastosowań dwurzutowych odwzorowań częściowo złożeniowych do definiowania zasad realizacji wielu graficznych metod odwzorowań,
- z drugiej strony prowadzą do sprecyzowania kilku wersji konstrukcji rozwinięć panoram walcowych, które przy zastosowaniu wspomagania komputerowego mogą stać się sprawnym narzędziem służącym do wzbogacania graficznych elementów opracowań projektowych, inwentaryzacyjnych, reklamowych czy nawet artystycznych.

Literatura

1. Bartel K., *Perspektywa malarska*. PWN, Warszawa 1960
2. Grochowski B., *Geometria wykreślna z perspektywą stosowaną*. PWN, Warszawa 1995
3. Januszewski B., Dźwierzynska J., *Odwzorowanie częściowo złożeniowe Z trójwymiarowej przestrzeni rzutowej na płaszczyznę...*, Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej „Budownictwo i Inżynieria Środowiska”, z. 31, Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 1999
4. Dźwierzynska J., *O pewnym odwzorowaniu na powierzchni walcowej obrotowej*. Seminarium „Geometria i grafika w kształceniu współczesnego inżyniera”, Wisła 2000
5. Januszewski B., Dźwierzynska J., *O pewnej modyfikacji i uogólnieniach wykreślnego odwzorowania perspektywicznego przestrzeni E_3 na obrotowej powierzchni walcowej*. Seminarium „Geometry and computer”, Wisła 2001
6. Polański S., *O niektórych własnościach rozwinięć powierzchni wiązkowych obrotowych*. Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Rzeszowskiej, Rozprawy nr 13, Rzeszów 1975

ABOUT DIRECT STRUCTURE OF UNREELING OF CYLINDRICAL PANORAMA OF E_3 SPACE

Summary

The analysis of classical method of composition of panoramic picture, when the canvas requires a special construction frame, which forms a cylindrical shape of it has led to the idea of unreeling of the canvas on the plane.

This way of structure of cylindrical panoramas contrary to the known methods is direct and it is realized by means of the partly composite representation.

The panoramic cylindrical projection is applied as a main projections in this representation. So the projection plane-background is a rotary cylindrical surface (or the segments of these surfaces). Whereas the supplemental projection is such as in the vertical perspective the rectangular projection to the plane which is perpendicular to the l axis of the $\hat{\tau}$ background (in case vertical panorama) or the normal hyper-bundle projection on the $\hat{\tau}$ background (in instance horizontal panorama).

For the maximum approximation of the panorama drawings to the reality of perception it is advised to use as a main projection the projection from the dispersed centers in the panorama representation. The centers are included in the circle, which is a model of the panorama platform. So the drawings correspond with the really impression one should have walking around the platform.

For the graphical mapping of the results of panorama representations the panorama drawings included in the background are transformed into their equivalent on the unreeling.

Finally a practical and efficient realization of the panorama mappings is proposed with the help of computer software: MathCAD and AutoCAD.

Złożono w Oficynie Wydawniczej we wrześniu 2007 r.

Piotr GAŚKA
Politechnika Rzeszowska

MONITORING TENSOMETRYCZNY OBWAŁOWAŃ MODERNIZOWANEGO SKŁADOWISKA ODPADÓW KOMUNALNYCH W KROŚNIE*

W projekcie składowiska przewidziano system monitoringu stanu technicznego obwałowań w dwóch najbardziej wyężonych i zagrożonych przekrojach. Na podstawie symulacji numerycznych MES ustalono w wybranych przekrojach obwałowań charakterystyczne punkty rozkładu sił wewnętrznych (rozciągających) w zbrojeniu obwałowań. Tensometry z kompensatorami odkształceń przewidziano do instalacji w miejscach występowania i zmiany ekstremalnych sił rozciągających w zbrojeniu. Zmierzona kiedykolwiek zmiana oporności tensometrów wraz z analizą możliwości pogorszenia się warunków geotechnicznych obwałowań może świadczyć o całkowitej lub częściowej utracie współpracy (tarcia) zbrojenia z gruntem nasypowym obwałowań. Konsekwencją tego jest utrata stateczności wewnętrznej oraz zewnętrznej zbrojonych obwałowań. Odpowiednio wczesne stwierdzenie zagrożenia umożliwi zastosowanie środków zaradczych, polegających na wzmocnieniu obwałowań, np. za pomocą dodatkowych, zewnętrznych przypór.

1. Wprowadzenie

Składowisko odpadów komunalnych (innych niż niebezpieczne i obojętne) zlokalizowane jest na granicy miasta Krosna w miejscu lokalnego jaru poprzecznie przecinającego zbocze o ekspozycji północnej. Budowę jednokwaterowego składowiska odpadów komunalnych rozpoczęto w 1980 r., a przekazano do użytkowania w 1988 r. Składowanie odpadów odbywało się od górnej części składowiska (południowej) w kierunku części dolnej (północnej).

W chwili rozpoczęcia prac projektowych zmierzających do odtworzenia i przebudowy dolnej części było ono wypełnione odpadami w części górnej i środkowej. W 2004 roku rozpoczęto prace budowlane w celu odtworzenia i przebudowy dolnej części niecki oraz dostosowania jej konstrukcji do wymo-

* Instalacja tensometrów w obwałowaniach składowiska odpadów była konsultowana ze zmarłym dr. inż. Władysławem Łakotą, prof. PRz.

gów obowiązujących aktów prawnych, dotyczących ochrony środowiska naturalnego.

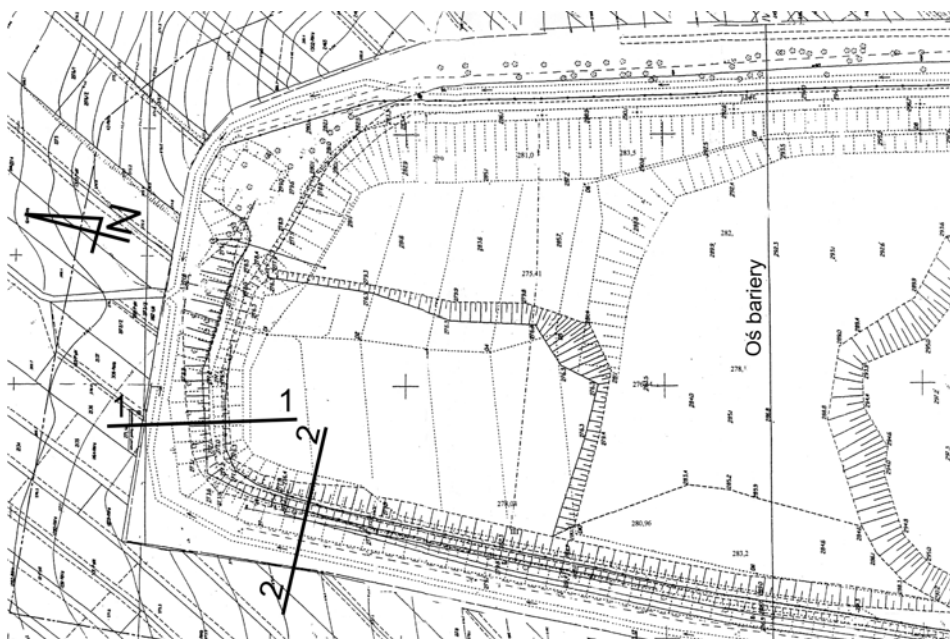
2. Warunki geotechniczne w miejscu składowiska

Składowisko odpadów zlokalizowane zostało w jarze rozcinającym poprzecznie zbocze o ekspozycji północnej [1], w obrębie północnego skrzydła antykliny Turaszówki. Przed budową składowiska w dnie jaru występował okresowo niewielki strumień, zasilany wodami opadowymi oraz źródłkowymi. Spadki zboczy jaru wynosiły od 12,5 do 25%, a podłużny spadek dna jaru od 3 do 4%.

W budowie geologicznej jaru wyróżniono dwa piętra [1]:

- piętro trzeciorzędowe, skalne,
- piętro czwartorzędowe, zwietrzelinowe i deluwialne.

Skalne piętro trzeciorzędowe reprezentowane jest przez warstwy menilitowe, przejściowe i krośnieńskie w facji łupkowej i łupkowo-piaskowcowej. Podłoże skalne składowiska zalega na głębokości 3,5 m w zachodniej części składowiska, 5,0 m w okolicy osi jaru oraz 7,0 m we wschodniej części składowiska (rys. 1.), mierząc względem poziomego terenu. Są to skały miękkie o wytrzymałości na ściskanie około 3,0 MPa.



Rys. 1. Mapa sytuacyjno-wysokościowa modernizowanej części składowiska. 1, 2 – analizowane przekroje obwałowania

Zwierzeliny czwartorzędowe starszego podłoża skalnego są zbudowane z pyłów i piasków pylastych oraz glin pylastych zwięzłych, zbliżonych właściwościami do ilów pylastych. Utwory te zalegają bezpośrednio na spękanych skałach, a ich miąższość wynosi od 1,5 do 5,0 m. Podstawowe parametry geotechniczne utworów zwierzelinowych zestawiono w tab. 1.

Utwory deluwialne są zbudowane z glin pylastych oraz glin zwięzłych i zalegają na zwierzelinach do poziomu terenu. Ich miąższość wynosi od 2,0 do 3,5 m. W północnej części składowiska (w okolicy modernizowanego obwałowania składowiska) stwierdzono występowanie namułów o miąższości do 1,0 m, zalegających bezpośrednio poniżej poziomu terenu na warstwie glin deluwialnych. Podstawowe parametry geotechniczne utworów deluwialnych oraz namułów zestawiono w tab. 2.

Tabela 1. Parametry geotechniczne utworów zwierzelinowych

Grunt \ Parametr	$\gamma^{(n)}$ [kN/m ³]	w_n [%]	I_L/I_D	$\phi_u^{(n)}$	$c_u^{(n)}$ [kPa]
Pył	19,0	24,0	0,45	9,5	7,0
Piasek pylasty	18,5	17,0	0,35	29,5	-
Glina pylasta zwięzła	19,0	19,0	0,1	12,0	31,0

Tabela 2. Parametry geotechniczne utworów deluwialnych i namułów

Grunt \ Parametr	$\gamma^{(n)}$ [kN/m ³]	w_n [%]	I_L/I_D	$\phi_u^{(n)}$	$c_u^{(n)}$ [kPa]
Glina pylasta	19,0	19,0	0,2	14,0	15,0
Glina zwięzła	19,5	22,0	0,4	11,5	25,0
Namuł	18,5	23,0	0,5	-	-

Istniejące obwałowania niecki składowiska wykonano z miejscowych gruntów – glin pylastych i glin zwięzłych [2]. Stwierdzony wskaźnik zagęszczenia gruntów w nasypach obwałowań $I_S = 0,95 \div 0,98$. Grunty nasypowe obwałowań występują w stanie twardoplastycznym, a w pobliżu podstawy nasypów w stanie bliskim plastycznego.

3. Konstrukcja przebudowanej części niecki składowiska

Wschodnią oraz południową część niecki składowiska zamykają naturalne stoki jaru, natomiast zachodnią i północną część niecki zamknięto obwałowaniem z gruntów nasypowych mineralnych. Przed rozpoczęciem modernizacji składowiska eksploatowano jego południową i środkową część. Południowa część niecki została wypełniona odpadami komunalnymi i rozpoczęto składowanie odpadów w części środkowej. Odcieki ze składowanych odpadów spły-

wały wzdłuż podłużnej osi niecki do jej nieeksploatowanej, północnej części, tworząc tam rozlewisko o powierzchni około 9000 m² [3]. Stagnujące odcieki infiltrowały w podłoże niecki składowiska, przedostając się pod północnym obwałowaniem do wód gruntowych.

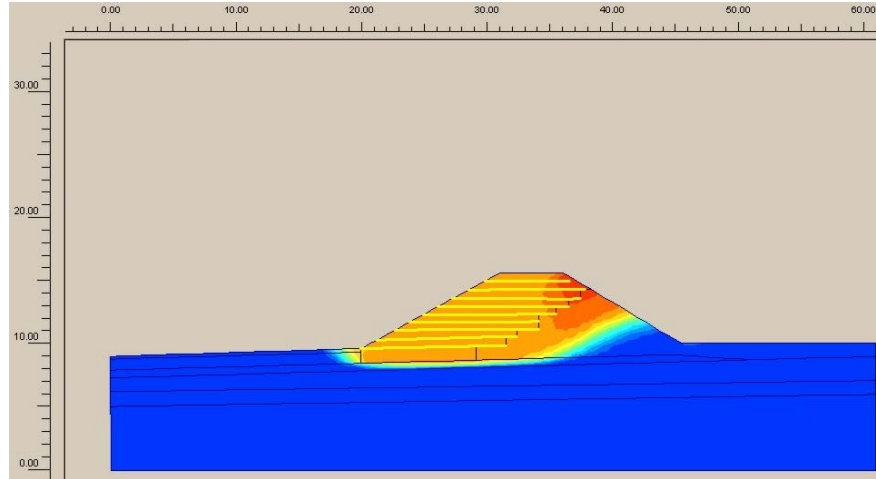
Zagrożenie zanieczyszczenia wód gruntowych odciekami ze składowiska wpłynęło na podjęcie decyzji o rekultywacji południowej oraz modernizacji północnej części składowiska wraz z dostosowaniem jego konstrukcji do obowiązujących wymogów prawnych, dotyczących deponowania odpadów oraz ochrony środowiska [4].

W celu realizacji zamierzonej rekultywacji południowej części składowiska, poniżej istniejącej skarpy zdeponowanych odpadów zaprojektowano barierę dla powierzchniowego spływu odcieków z części składowiska rekultywowanej do modernizowanej [5]. Przestrzeń pomiędzy barierą a istniejącą podstawą skarpy odpadów przeznaczono do deponowania odpadów nowych oraz pochodzących z przemieszczania zdeponowanych odpadów w trakcie formowania bezpiecznego kształtu istniejącej skarpy odpadów.

W trakcie prac przygotowawczych do realizacji projektu budowlanego modernizacji składowiska stwierdzono znaczącą degradację istniejących obwałowań składowiska, wynikającą zarówno z eksploatacji składowiska, jak również erozji nasypów. Fakt ten wpłynął na podjęcie decyzji o przebudowie obwałowań składowiska oraz ich podwyższeniu w celu zwiększenia pojemności składowiska. Przebudowę i podwyższenie obwałowań składowiska zdecydowano zrealizować, projektując przypory istniejących nasypów. Przypory zaprojektowano z miejscowego gruntu spoistego, zbrojonego geotkaninami. Aby połączyć istniejące obwałowania składowiska z projektowanymi, przewidziano wykonanie schodkowania skarp istniejących obwałowań.

Po wykonaniu modeli MES charakterystycznych przekrojów obwałowań w odniesieniu do końcowego etapu eksploatacji modernizowanego składowiska podjęto decyzję o zastosowaniu w konstrukcji przypór zbrojenia z geotkanin o zróżnicowanej wytrzymałości na rozciąganie w jednym uprzywilejowanym kierunku – wzdłuż włókien. Model MES wykonano w programie PLAXIS [6].

Korzystając z zależności normowych [7], określono prognozę potencjalnych zmian warunków geotechnicznych gruntów nasypowych obwałowań oraz ich wpływu na stateczność ogólną obwałowań. Na rysunku 2. przedstawiono przykładowe położenie powierzchni poślizgu dotyczące przekroju geotechnicznego nr 1 obwałowań i odpowiadających im warunków geotechnicznych, dla których wartość współczynnika stateczności ogólnej wynosi 0,81. Współczynnik stateczności ogólnej na poślizg określano metodą redukcji parametrów wytrzymałościowych gruntu nasypowego obwałowań $\phi^{(n)}$, $c_u^{(n)}$ [8]. W tabeli 3. zestawiono wartości współczynnika stateczności ogólnej oraz podstawowe wartości parametrów geotechnicznych dla tego przekroju.



Rys. 2. Położenie potencjalnej powierzchni poślizgu w modelu MES przekroju nr 1 o współczynniku stateczności ogólnej $F = 0,81$

Tabela 3. Wartości współczynnika stateczności ogólnej F oraz podstawowe wartości parametrów geotechnicznych symulacji numerycznej zmiennych warunków geotechnicznych obwałowania dla przekroju nr 1 (rys. 1.)

Prognostyka	Parametry	$\gamma^{(n)}$ [kN/m ³]	I_L	$\phi^{(n)}$	$c_u^{(n)}$ [kPa]	F
1		19,3	0,2	15,3	18,2	1,99
2		19,6	0,3	13,9	13,7	1,68
3		19,8	0,4	11,6	10,9	1,34
4		20,3	0,5	8,9	7,8	1,09
5		20,9	0,75	6,3	6,2	0,81

Korzystając z programu MS Excel [9], określono zależność (funkcję regresji drugiego rodzaju) współczynnika stateczności modelu MES względem stopnia plastyczności gruntu nasypowego obwałowań:

$$F = 2,9347 - 5,2792 \cdot I_L + 3,2532 \cdot I_L^2 \quad (1)$$

Z zależności tej określono w programie MS Excel [9] wartość stopnia plastyczności gruntu nasypowego obwałowań, przy którym następuje ich utrata stateczności na poślizg. W odniesieniu do przykładowego przekroju nr 1 obwałowania graniczna wartość współczynnika stateczności występuje dla gruntu nasypowego o $I_L = 0,56$.

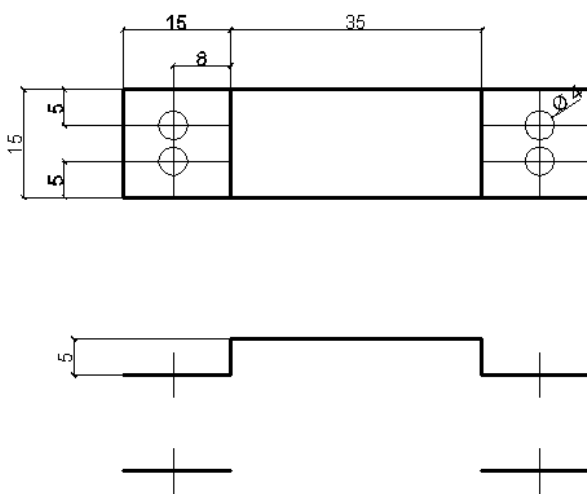
4. Monitoring tensometryczny obwałowań składowiska

W przypadku utraty stateczności chociażby fragmentu obwałowania odcieki z deponowanych odpadów, które zgodnie z projektem są zbierane przez system drenażu w niecce składowiska, a także odprowadzane do wstępnego oczyszczenia i dalej do oczyszczalni ścieków miasta, przedostaną się poza obręb szczelnej niecki składowiska i dalej do gruntu oraz wód gruntowych.

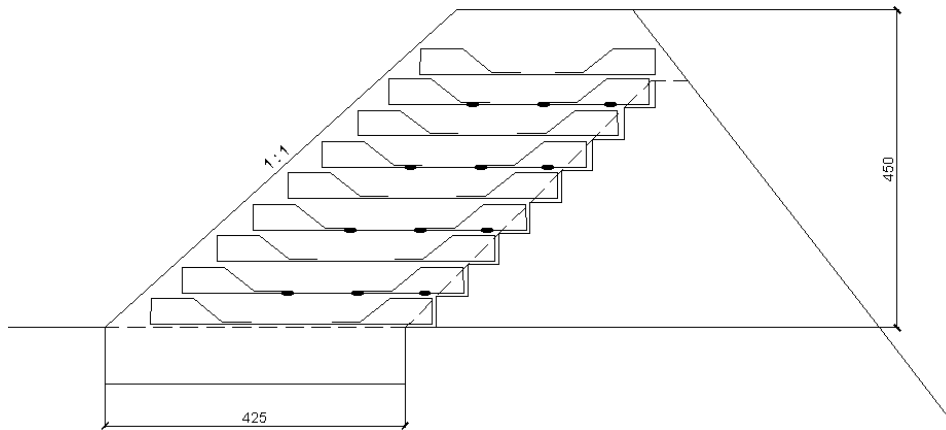
W projekcie składowiska przewidziano system monitoringu stanu technicznego obwałowań w dwóch najbardziej wyężonych i zagrożonych przekrojach (nr 1 i 2 na rys. 1.). W przypadku niekorzystnych zmian warunków geotechnicznych gruntów nasypowych obwałowań istnieje zagrożenie utraty stateczności zarówno zewnętrznej (ogólnej) na poślizg, jak i wewnętrznej, związanej z tarcieniem gruntu względem powierzchni zbrojenia, przenoszącego siły rozciągające z gruntu.

Na podstawie symulacji numerycznych MES ustalono w wybranych przekrojach obwałowań charakterystyczne punkty rozkładu sił wewnętrznych (rozciągających) w zbrojeniu obwałowań. W miejscach tych zaprojektowano instalację tensometrów, których zadaniem jest rejestracja oporów przepływu prądu, zależnych od stopnia wyężenia (rozciągnięcia) tensometrów.

Ze względu na spodziewane duże wydłużenia tensometrów mocowanych do zbrojenia obwałowań zaprojektowano specjalną konstrukcję elementów kompensujących duże wydłużenia zbrojenia, zaproponowaną przez dostawcę tensometrów Tenmex z Łodzi, na których instalowano tensometry. Schemat konstrukcji elementów kompensujących (kompensatorów odkształceń) pokazano na rys. 3.



Rys. 3. Schemat konstrukcji kompensatora odkształceń (w widoku z boku – kompensator odkształceń oraz podkładka mocująca)



Rys. 4. Schemat rozmieszczenia tensometrów z kompensatorami odkształceń w przekroju obwałowania składowiska nr 1 (rys. 1.)

Rozmieszczenie tensometrów zainstalowanych na kompensatorach odkształceń w wybranym przekroju nr 1 (rys. 1.) przedstawiono na rys. 4. Kompensatory odkształceń z tensometrami przewidziano do instalacji w miejscach występowania i zmiany ekstremalnych sił rozciągających w zbrojeniu.

5. Wnioski

Zmierzony kiedykolwiek spadek oporności tensometrów wraz z analizą możliwości pogorszenia się warunków geotechnicznych obwałowań może świadczyć o utracie lub częściowej utracie współpracy (tarcia) zbrojenia z gruntem nasypowym obwałowań. Konsekwencją tego jest utrata stateczności wewnętrznej oraz zewnętrznej zbrojonych obwałowań. Odpowiednio wczesne stwierdzenie zagrożenia umożliwi zastosowanie środków zaradczych, polegających na wzmocnieniu obwałowań, np. za pomocą dodatkowych, zewnętrznych przypór.

Literatura

1. Dokumentacja geotechniczna pod prace i roboty odtworzeniowe na składowisku odpadów dla miasta Krosna – część północna. Zespół Usług Geologiczno-Technicznych HGS-EKO, Krosno 2002
2. Opinia geotechniczna dotycząca wykonania wschodniej skarpy niecki składowiska i ustalenia przydatności gruntów ukopowych do wbudowania w nasyp wału ziemnego na składowisku odpadów komunalnych w Krośnie. Zespół Usług Geologiczno-Technicznych HGS-EKO, Krosno 2004
3. Aneks nr 1 do dokumentacji geotechnicznej pod prace i roboty odtworzeniowe na składowisku odpadów dla miasta Krosna. Wyniki pompowania i obmiarów zbiornika

- retencyjnego odcieków. Zespół Usług Geologiczno-Technicznych HGS-EKO, Krosno 2002
4. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 24 marca 2003 roku w sprawie szczególnych wymagań dotyczących lokalizacji, budowy, eksploatacji i zamknięcia, jakim powinny odpowiadać poszczególne typy składowisk odpadów. Dz. U. 03.61.549 z dnia 10 kwietnia 2003 r.
 5. Projekt budowlany prac odtworzeniowych na składowisku dla miasta Krosna. PROEKO, Rzeszów 2002
 6. Program komputerowy PLAXIS. Plaxis BV, Holandia
 7. PN-81/B-03020. *Grunty budowlane. Posadowienie bezpośrednio budowli. Obliczenia statyczne i projektowanie*
 8. Brinkgreve R.B.J., Bakker H.L., *Non-linear finite element analysis of safety factors*. Proc. 7th Int. Conf. On Comp. Methods and Advances in Geomechanics, Cairns, Australia 1991
 9. Program komputerowy EXCEL, Microsoft Sp. z o.o., Polska

TENSOMETRICAL MONITORING OF EMBANKMENTS OF THE MODERNIZED MUNICIPAL LANDFILL IN KROSNO

S u m m a r y

Monitoring system of embankments technical condition has been planned in the landfill project in the most strenuous and endangered two sections. In selected embankments profiles characteristic places of the internal (tensile) forces distribution in embankments reinforcement have been established on the basis of FEM numerical simulations. Tensometers installation on compensators of high strains has been designed in these places. Strain compensators with tensometers have been anticipated to installing in places of occurrence and change of extreme tensile forces in the reinforcement. Measured at any time fall of tensometers resistance along with analysis of deterioration possibilities of embankments geotechnical conditions can indicate total or partial loss of reinforcement interaction with embankments soil. Early affirmation of the danger will permit application of remedial steps consisting in embankments strengthening, e.g. by means of additional, exterior buttress.

Złożono w Oficynie Wydawniczej w październiku 2007 r.

Marek GOSZTYŁA
Lech LICHOLAŁ
Politechnika Rzeszowska

TECHNIKI REALIZACYJNE OBIEKTÓW BUDOWLANYCH TWIERDZY PRZEMYŚL

W artykule opisano techniki budowlane stosowane podczas realizacji obiektów wojskowych i budowli inżynierskich twierdzy Przemyśl. Wyeksponowano zachowane budynki zabytkowe znajdujące się w różnym stanie technicznym. Zwrócono uwagę na stosowane rozwiązania technologiczne, systemy konstrukcyjne oraz detale architektoniczne, będące świadectwem myśli inżynierskiej przełomu XIX i XX w.

1. Wprowadzenie

Twierdza Przemyśl znajdująca się w kręgu zainteresowań wielu badaczy i turystów nie została do tej pory objęta szczegółowymi badaniami terenowymi. Ukazujące się publikacje i artykuły poświęcone są najczęściej próbie ukazania historii budowy, systemom obronnym, komunikacji fortecznej, wyposażeniu i załodze twierdzy [1-4].

Niniejszy artykuł został opracowany z wykorzystaniem rozpoczętych badań, mających na celu przybliżenie techniki budowania fortyfikacji przemyskiej.

Autorzy badań rozpoczęli swoje prace w miejscach, w których pozostałe obiekty wchodzące w skład twierdzy są mocno zniszczone i ulegają szybko postępującej dewastacji. Badaniami objęto też i inne budowle, budynki, w których był umożliwiony dostęp do wykonania badań.

2. Analiza wybranych obiektów

W pierwszej kolejności badaniami w terenie objęto rejon ulicy Przemysława w Przemyślu. Obok cmentarza wojennego złożone zostały elementy po obiekcie (fot. 1.)^{*}, który z pewnością wyposażony był w detale architektoniczne.

Zachowały się bloki i ciosy granitowe po obróbce ręcznej (fot. 2.). Dobrze widoczne są sfazowania, ćwierćwałki, klince i elementy łuków. W miejscu tym historycznie mógł się znajdować magazyn amunicji. Pozostałe elementy są

^{*} Autorem zamieszczonych w artykule fotografii jest L. Lichołai.

świadectwem starannego i artystycznego wykańczania budynków służących celom tylko użytkowym.



Fot. 1. Prawdopodobne miejsce usytuowania magazynu amunicji obok cmentarza wojennego



Fot. 2. Materiałowe pozostałości elementów kamiennych magazynu amunicji

Na tej samej ulicy pod nr 25 stoi parterowy budynek, w którym mieściła się wartownia (fot. 3.). Obiekt murowany przykryty dachem dwupołaciowym,

pozostający w złym stanie technicznym, zachował do dnia dzisiejszego historyczną formę.



Fot. 3. Budynek wartowni przy ulicy Przemysława 25

Dom nie został rozebrany, gdyż po zakończeniu działań wojennych adaptowano go do celów mieszkalnych. Utrzymanie ciągłości użytkowania, pomimo zmiany funkcji budynku, w sposób bezpośredni stało się jednym z głównych czynników zachowujących zabytek.

Po przeciwnej stronie tej ulicy historycznie mieściły się magazyny amunicji i prochu (fot. 4.).



Fot. 4. Miejsce, gdzie znajdowały się magazyny amunicji i prochu

W terenie porośniętym samosiewami widoczne są fragmenty betonowych fundamentów i słupów (fot. 5.).



Fot. 5. Betonowe pozostałości po magazynie amunicji i prochu

Przy ulicy Grochowskiej, od strony południowej baterii XVI b, mieścił się magazyn prochu i wewnętrzna brama prowadząca na teren założenia fortu N XVI. Po bramie zachowały się tylko przyczółki ziemne (fot. 6.), a po magazynie – materiał wtórnie użyty do budowy obiektu gospodarczego (fot. 7.).



Fot. 6. Przyczółki ziemne bramy prowadzącej do fortu N XVI



Fot. 7. Budynek wzniesiony z budowlanego materiału forttecznego na miejscu magazynu prochu

Pozostała cegła, resztki zaprawy oraz dwa słupy drewniane, profilowane, malowane na kolor zielony (fot. 8a,b). Staranne wykończenie słupów może stanowić podstawę do wysunięcia hipotezy, że elementy te podtrzymywały zewnętrzne zadaszenie (mógł to być portyk lub ganek).

a)



b)



Fot. 8. Przykłady wykorzystania oryginalnych elementów budowlanych

Magazyny amunicyjne i prochownie pozbawione opieki były rozbierane przez miejscową ludność. Materiał budowlany bardzo dobrej jakości wykorzystywano do budowy nowych obiektów. Substancja zabytkowa przetransformowana została więc do współczesnych struktur budowlanych.

W rejonie ulicy Kupały i Grota-Roweckiego znajdował się pokojowy magazyn prochu i wojenny magazyn. Zachowały się czytelne fragmenty jego konstrukcji (fot. 9.). Po wysadzeniu budowli przez wojska austriackie odsłonięte zostały przekroje ustrojów konstrukcyjnych.



Fot. 9. Budowlane pozostałości konstrukcyjne po magazynie prochu i wojennym magazynie

Strop wykonany został jako betonowy, monolityczny – składa się z trzech warstw dobrze zagęszczonej mieszanki (fot. 10.). W środkowej części stropu widoczne są dodatkowe warstwy betonu, dodawane w celu wzmocnienia jego konstrukcji. Ściany i fundamenty magazynu również wzniesiono z jednorodnego betonu o kruszywie żwirowym (fot. 11.).

W sklepieniach i dolnych partiach ścian założone zostały ceramiczne przewody wentylacyjne, co zapewniało naturalną wentylację wewnątrz (fot. 12.). Do dnia dzisiejszego utrzymały się znaczne płaszczyzny pionowej izolacji zewnętrznej, wykonane z masy bitumicznej (fot. 13.).



Fot. 10. Fragment stropu



Fot. 11. Fragment ściany



Fot. 12. Ceramiczne przewody wentylacyjne



Fot. 13. Bitumiczne zabezpieczenie izolacyjne

Wjazd do magazynu od strony południowej poprzedzony był murem kamiennym (fot. 14.). Dobrze zachowany odcinek spełniał rolę muru oporowego, a jego lico wykonane zostało z ciosów piaskowca połączonych wklęsłymi spoinami cementowymi. Pozostałą grubość muru wypełniono nieregularnym piaskowcem łączonym wyprawą wapienną. Z bramy wjazdowej pozostały elementy kamienne: sfazowane słupy i belka nadprożowa.

Wojenny magazyn prochu ulokowany był w niszy ziemnej. Od strony południowej na całej wysokości przylegał do nasypu ziemnego, od strony północnej i zachodniej przesłonięty był zaś wałami ziemnymi. Takie zakomponowanie budowli w terenie powodowało wtopienie obiektu w krajobraz i czyniło go mało widocznym. Magazyn przykryty sklepieniem łukowym rozmywał się w przestrzeni.

Za wałem magazynu od strony północnej mieściło się lokalne ujęcie wody (fot. 15.). Obecnie w tym miejscu widać tylko betonową płytę podziemnych

zbiorników wodnych. Pod powierzchnią ziemi pozostała infrastruktura zbiorników wodnych.



Fot. 14. Ściana oporowa z muru kamiennego



Fot. 15. Miejsce, gdzie znajdowało się ujęcie wodne

Przy kopcu tatarskim od strony północnej w okresie I wojny światowej znajdował się punkt sygnałowy. Zachował się zarys drogi (fot. 16.) prowadzącej do tego stanowiska, taras ziemny oraz betonowa stopa fundamentowa (fot. 17.).

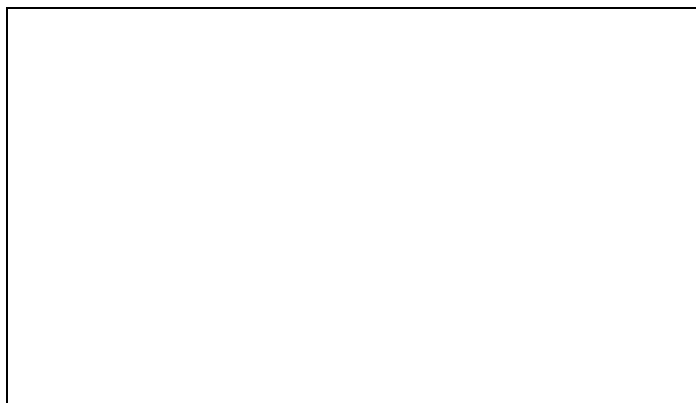


Fot. 16. Droga prowadząca do punktu sygnałowego



Fot. 17. Betonowe pozostałości po punkcie sygnałowym

Do obiektów ulegających szybkim procesom przekształcania zaliczyć można koszary Artylerii Polnej w Pikulicach (fot. 18.).



Fot. 18. Koszarowe budynki Artylerii Polnej

Przy ulicy Herburtów znajdują się budynki administracji koszar, budynki mieszkalne kadry oficerskiej, budynki koszarowe oraz przebudowane i mocno zniekształcone budynki inwentarskie. Dwa obiekty, w których były stajnie, znajdują się w stanie ruiny. Całość zabudowy tworzą budynki jednokondygnacyjne. Pomimo szybko postępujących procesów niszczenia i występujących wtórnych podziałach zachowane zostało historyczne rozplanowanie zespołu oraz widoki panoramiczne, natomiast w trakcie prowadzonych obecnie prac modernizacyjnych stosuje się materiały niskiej jakości (np. budynek pokoszarowy na skrzydle wschodnim założenia).

W budynku byłej administracji koszar, gdzie obecnie są mieszkania lokatorskie, stoi jeszcze, mocno skorodowana biologicznie, wieża zegarowa na dachu (fot. 19.).



Fot. 19. Budynek administracji koszar z wieżą zegarową

Pozostały podcienia ze słupami drewnianymi, ślady głównego portalu, opaski okienne, gzymsy oraz cokoliki (fot. 20.). Profilowane słupy i miecze łączono na czopy. Zachowany fryz okapowy zdobiony był motywem pilastym. Pod oknami parapety wykonywano z cegły szkliwionej, układanej na rąb. Do murowania gzymsów stosowano cegły profilowane.



Fot. 20. Drewniane podcienia wejściowe

Budynki dla kadry wojskowej, o ujednoliconej bryle, w wykształconych przybudówkach posiadały sanitariaty. Zwraca uwagę fakt, że kształt ściany szczytowej przybudówki sanitarnej był zbliżony do kształtu ściany szczytowej całego budynku (fot. 21a,b).



Fot. 21. Budynki osiedlowe z widoczną częścią sanitarną

Ściany obiektów murowane z cegły na zaprawie wapiennej o spoinach wypukłych pokryte były wyprawami wapiennymi. Elewacje malowano kolorem kremowym. Zachowała się stolarka okienna ośmiokwaterowa (oryginalna) i czterokwaterowa (późniejsza) oraz drzwiowa płycinowa. Okna i drzwi wejściowe posiadały oprawę z wapiennych opasek.

Znajdujące się na terenie osiedla budynki inwentarskie to dwa obiekty po byłych stajniach (fot. 22.). Są zniszczone, w zasadzie są to pozostałości obiektów, już w stanie ruiny. Rozpoznać można boksy, a w nich cembrowiny do pojenia zwierząt i kolucha do wiązania koni.



Fot. 22. Pozostałości budynków inwentarskich

Budynki inwentarskie, które się zachowały w ograniczonej formie, posiadają mury o grubości 1 i 1/2 cegły. Obiekty te generalnie zostały przebudowane w XX w. W stajniach mieszczących się w skrzydle zachodnim koszar pozostały słupy i belki drewniane oddzielające przestrzeń boksów od korytarza. Na elewacjach odpadające późniejsze tynki odsłaniają wyprofilowane ościeża. W kwartale tym dobrze widoczna jest cembrowina, gdzie była wykopana jedna z wielu studni koszarowych.

Koszary wybudowane w XIX w. pełniły niezmiennie swoją funkcję do II wojny światowej. Następnie przeznaczone były na obóz jeniecki, mieszkania lokatorskie, zakłady przemysłowe, magazyny i hurtownie. Przebudowa zespołu koszarowego rozpoczęła się w latach 60. XX w. i trwa do dnia dzisiejszego.

Ciągłe zmiany funkcji zabytkowych koszar wymuszają wykonywanie prac modernizacyjnych, a nie restauratorskich i to z wykorzystaniem materiałów o wątpliwej jakości. Następuje wymiana elementów, ustrojów, struktur materiałowych, przebudowa wnętrz, otworów okiennych i drzwiowych, do obiektów wprowadza się nowe technologie bez wcześniejszego rozpoznania możliwości ich adaptacji.

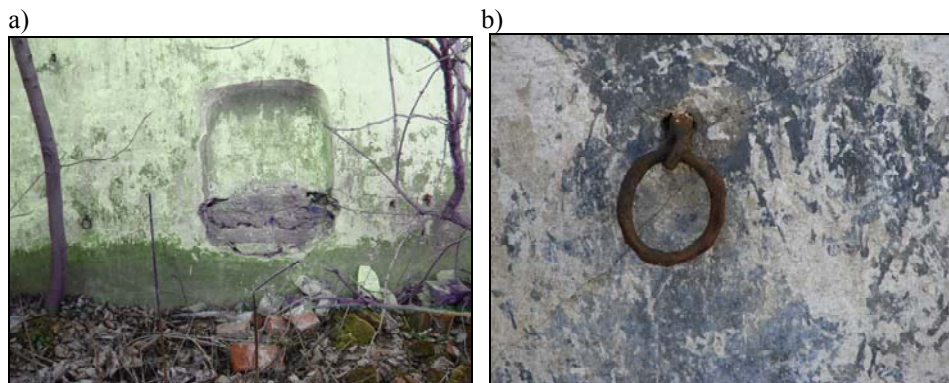
Brak kontroli zachodzących zjawisk niosących ze sobą przekształcenia i likwidację struktur konserwatorskich oraz rezygnację z koncepcji wieloetapowego zagospodarowania zabytkowego zespołu przyczynia się do degradacji krajobrazu kulturowego.

Resztki obiektu zabytkowego po byłej stajni dla chorych koni zachowały się przy ulicy Mogielnickiego. Wśród gruzu ceglanego wydzielić można konstrukcyjny poprzeczny układ ścian, w którym mieściły się boksy dla koni (fot. 23.).



Fot. 23. Pozostałości po budynku inwentarskim dla chorych koni

Na fragmentach ścian pozostały ślady poidel (fot. 24a,b), a w miejscach, gdzie były wejścia do boksów – pionowe metalowe słupki oraz jedna mocno zdeformowana bramka. W stajniach tych kładziono szczególnie mocne tynki. Były to tynki dwuwarstwowe o gładzi cementowej.



Fot. 24. Detale wykończeniowe pojedynczego stanowiska dla konia

W rejonie tym w czasie I wojny światowej mieścił się cały kompleks koszarowy nr VII – grupa południowa. Po zabytkowym zespole pozostały cztery budynki. W jednym z nich mieści się hotel, a w pozostałych magazyny, hurtownie i sklepy. Historyczna przestrzeń kulturowa została przeobrażona w przypadkowy układ zabudowy, o niespójnej koncepcji rozplanowania urbanistycznego. Historyczny układ zespołu można jeszcze odczytać na podstawie zachowanych wewnętrznych dróg i śladów fundamentów. Krajobraz robi wrażenie zdegradowanego.

Obiekty, w których mieściła się rzeźnia i garbarnia zostały rozebrane w kwietniu 2007 r. (fot. 25.). Autorzy mogli jeszcze potwierdzić istnienie murów fundamentowych oraz odcinków żeliwnej kanalizacji.



Fot. 25. Pozostałość po budynku rzeźni

Nieistniejący już zespół budynków przemysłowych przy ul. Rzeźniczej i Kopernika w okresie II wojny światowej ufortyfikowany został schronem przynależnym do tzw. Linii Mołotowa. Rosjanie na stropie żelbetowym zainstalowali stalową kopułę produkcji polskiej z I wojny światowej, z otworami strzelniczymi z czterech stron.

Wzdłuż ulicy Rokitniańskiej Austriacy ulokowali areszt i sąd garnizonowy. W areszcie znajduje się teraz więzienie. Natomiast gmach Sądu Garnizonowego mieszczący się przy ulicy Rokitniańskiej 3 zaadaptowany został na mieszkania (fot. 26.).



Fot. 26. Gmach Sądu Garnizonowego przy ulicy Rokitniańskiej 3

Bryła budynku została zniekształcona poprzez nadbudowanie trzeciej kondygnacji. Obiekt do wysokości drugiej kondygnacji, pomimo zmiany funkcji, nie utracił zabytkowego charakteru.

W sąsiedztwie ulicy Rokitniańskiej, przy ulicy Czarnieckiego 33 wybudowano duże Miejskie Koszary Piechoty (fot. 27.). Wewnątrz budynku zachował się czytelny program architektoniczny (fot. 28a,b), elementy wyposażenia sanitarnego, stolarka drzwiowa, drewniane podłogi, schody betonowe i drewniane, stropy drewniane oraz drewniana więźba dachowa.



Fot. 27. Miejskie Koszary Piechoty, ul. Czarnieckiego 33 – elewacja frontowa

a)



b)



Fot. 28. Korytarz wewnętrzny (a), fragment schodów drewnianych prowadzących na strych (b)

Nieszczelny dach, powodujący przeciekanie wód deszczowych, przyczynia się do niszczenia oryginalnej więźby i stropów (fot. 29.).



Fot. 29. Fragment więźby dachowej

Na drugim piętrze w południowym traktcie strop drewniany jest załamany w trzech miejscach. Uszkodzenie daje pogląd na konstrukcję stropu. Do belek stropowych przybijano deski pasowane czołowo. Na nich mocowano faszynę i kładziono tynki. Również krokwie więźby dachowej od strony południowej są połamane.

Stosunkowo dobrze wyglądają elewacje zewnętrzne koszar (fot. 30.).



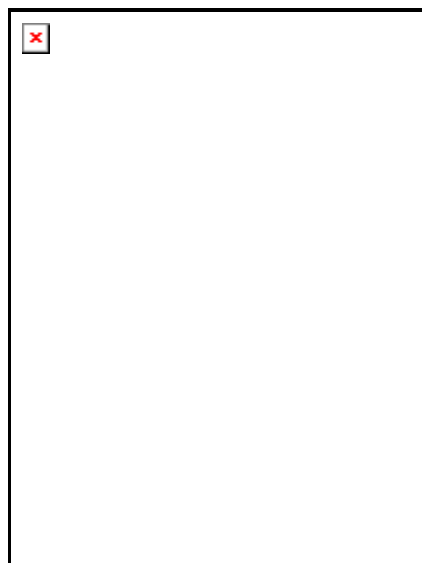
Fot. 30. Miejskie Koszary Piechoty – elewacja tylna i fragmenty placu ćwiczebnego

Gmach o trzech kondygnacjach, z obszernym placem ćwiczebnym jest obecnie opuszczony (fot. 30.). Obiekt pozostający bez dobrej opieki i w stosunkowo dobrym stanie technicznym może w przeciągu jednego sezonu zimowego ulec znacznej destrukcji konstrukcyjnej. Zniszczeniu ulegną stropy i więźba dachowa. W wyniku braku przyszłościowego programu zagospodarowania zabytkowych koszar gmach może bezpowrotnie utracić wartości kulturowe.

Do obiektów o dobrze zachowanej architekturze i konstrukcji należy zaliczyć narożny budynek byłej Kancelarii przy ulicy K. Szymanowskiego (fot. 31.).



Fot. 31. Budynek Kancelarii – ogólny widok zewnętrzny



Fot. 32. Wnętrze budynku Kancelarii – fragment klatki schodowej

Zniszczeniu ulegają jednak dekoracje artystyczne na zachodniej elewacji. W dwupiętrowej kamienicy, której funkcja uległa zmianie, gdyż obecnie mieszczą się tam mieszkania lokatorskie, pozostał reprezentacyjny wystrój wnętrza. Zachowała się brama główna dobrej snycerskiej roboty, barwna ceramiczna posadzka, klatka schodowa z kutą balustradą (fot. 32.) i stolarka drzwiowa.

Budynek o wartości architektonicznej i artystycznej wymaga pilnych prac restauratorskich. Tylko skuteczna interwencja konserwatorska może zatrzymać postępujący proces niszczenia zabytku.

3. Podsumowanie

Przedstawione w niniejszym artykule obiekty budowlane twierdzy Przemysł są niewielkim fragmentem wspaniałego kompleksu wzniesionego w XIX w. na potrzeby fortyfikacyjne. Opisane przykłady są świadectwem budowlanej myśli projektowej i realizacyjnej sprzed około 150 lat. W większości obiektów można zauważyć dbałość o precyzję wykonania, z częstym uwypukleniem detali architektonicznych przyczyniających się do estetycznego odbioru zewnętrznego tych obiektów.

W celu zachowania historycznego obrazu twierdzy Przemysł z nowoczesnym architektoniczno-budowlanym spojrzeniem należy dbać o odpowiedni stan techniczny poszczególnych obiektów wchodzących w skład tej zabudowy.

Literatura

1. Bogdanowski J., *Twierdza Przemysł*. Teka Konserwatorska Polska Południowo-Wschodnia, t. 4, Rzeszów 1991
2. Forstner F., *Przemysł. Österreich-Ungarns bedeutendste Festung*. Österreichischer Bundesverlag, Wiedeń 1987
3. Rożański J., *Twierdza Przemysł*. Krajowa Agencja Wydawnicza, Rzeszów 1983
4. *Zabytki architektury i budownictwa w Polsce. Województwo przemyskie*. Praca zbiorowa pod red. M. Róziewicz, t. 33, Ośrodek Dokumentacji Zabytków, Warszawa 1998

REALIZATION TECHNIQUES OF BUILDER'S OBJECTS OF THE STRONGHOLD OF PRZEMYŚL

Summary

In the paper are described structural engineerings which applied at the realization of military facilities and engineer buildings of the stronghold of Przemysł. Are exhibited existing monumental buildings which are in the different technical condition. Is paid attention on used technological solutions, structural systems and architectural details, which are the certificate of engineer ideas of the turn of XIX and XX age.

Złożono w Oficynie Wydawniczej w maju 2007 r.

Władysław ŁAKOTA

Aleksander STARAKIEWICZ

Politechnika Rzeszowska

IZOLACYJNOŚĆ AKUSTYCZNA I CIEPLNA PRZEGRÓD BUDOWLANYCH

W artykule przedstawiono wyniki badań izolacyjności akustycznej oraz izolacyjności cieplnej przegród budowlanych o różnej konstrukcji. Badania przeprowadzono w istniejących, użytkowanych budynkach jednorodzinnych. Izolacyjność cieplną obliczono dla istniejących przegród budowlanych. Bazując na cieplnych i akustycznych parametrach ścian budynków, porównano ich izolacyjność dla zmiennej częstotliwości.

1. Wprowadzenie

Przegrody stosowane w budownictwie jednorodzinym spełniają rolę oddzielającą wnętrze budynku od otoczenia zewnętrznego, jak również pomieszczeń od siebie. Konstrukcja przegród, niezależnie od wymagań statycznych, powinna zapewniać ochronę przed:

- stratami ciepła z pomieszczeń,
- zawilgoceniem wewnętrznym,
- hałasem.

Celem zapewnienia dobrych właściwości izolacyjnych zarówno akustycznych, jak i cieplnych przegród do ich budowy stosuje się materiały podstawowe, jak również pomocnicze. Zasadniczymi cechami fizycznymi materiałów podstawowych, które decydują o ich właściwościach akustycznych i cieplnych, są:

- gęstość objętościowa i porowatość,
- moduł sprężystości,
- współczynnik tłumienia wewnętrznego dźwięku,
- współczynnik przewodzenia ciepła.

Cechami fizycznymi materiałów pomocniczych są natomiast:

- sztywność dynamiczna,
- moduł sprężystości,
- współczynnik pochłaniania dźwięku,
- oporność przegrody na przenikanie energii akustycznej,
- oporność przepływowa.

Izolacyjność akustyczna przegrody zależy od częstotliwości przenikającej fali dźwiękowej. Dlatego właściwości akustyczne przegrody powinny być określone przez krzywe izolacyjności akustycznej w funkcji częstotliwości. Podawanie w danych technicznych przegród i elementów budowlanych tylko izolacyjności akustycznej w całym słyszalnym paśmie częstotliwości (*total efekt*) bez uwzględnienia pasm tercjowych lub oktawowych daje za mało informacji co do konstrukcji przegrody oraz jej właściwości. Aby dokładnie oceniać przegrody, konieczne jest wyznaczenie izolacyjności akustycznej w wąskich pasmach częstotliwości, również dlatego, aby wyznaczyć ewentualne występowanie częstotliwości rezonansowych pogarszających izolacyjność akustyczną [1÷4]. W podjętych przez autorów badaniach przeprowadzonych w warunkach rzeczywistych zajęto się zagadnieniami izolacyjności akustycznej i cieplnej w istniejących budynkach jednorodzinnych. Dalej przedstawiono wyniki tych badań.

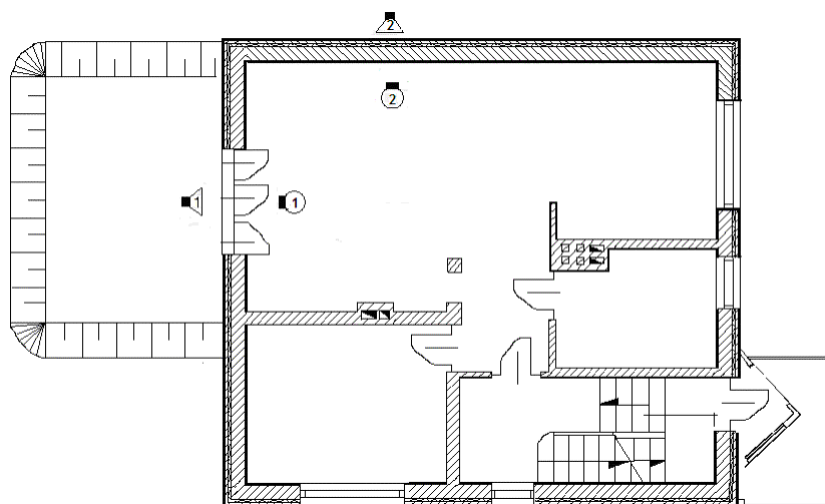
2. Badane obiekty

Obiekty wybrano tak, aby była możliwość oceny przegród pełnych występujących w tych obiektach, jak również przegród, w których występują okna i drzwi. Obiekt 1. to wolno stojący dom jednorodzinny. Budynek jest dwukondygnacyjny, częściowo podpiwniczony. Ściany zewnętrzne wykonane są jako trójwarstwowe, gdzie: warstwę konstrukcyjną o grubości 29 cm stanowią pustaki szczelinowe Max-220, warstwę izolacyjną o grubości 8 cm – styropian PS-E FS 15, a warstwę osłonową o grubości 9 cm – pustaki szczelinowe DZ-220. Wewnętrzna i zewnętrzna powierzchnia ściany pokryta jest tynkiem cementowo-wapiennym o grubości 1,5 cm. W budynku zastosowano okna i drzwi balkonowe drewniane jednoramowe, wykonane z profilu SKJ-94, o współczynniku przenikania ciepła $U_f = 1,32 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$. Oszklone są one jednokomorowymi szymbami zespolonymi niskoemisyjnymi (przestrzeń międzyszybowa wypełniona argonem) o współczynniku przenikania ciepła $U_g = 1,1 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$. Obiekt ten przedstawiono na fot. 1., a rzut parteru z zaznaczonymi punktami pomiarowymi

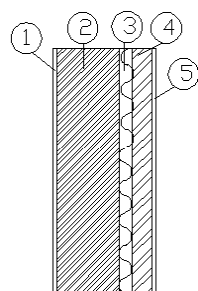


Fot. 1. Budynek 1.

na rys. 1. Konstrukcja przegrody pełnej i przegrody z drzwiami balkonowymi jest pokazana na rys. 2., natomiast parametry cieplne badanych przegród zawarto w tab. 1. i 2.



Rys. 1. Rzut parteru z zaznaczonymi punktami pomiarowymi w budynku 1.



Konstrukcja ściany zewnętrznej:

- 1) tynk cementowo-wapienny, 1,5 cm (wewnętrzny)
- 2) pustak szczelinowy Max-220, 29 cm
- 3) styropian, 8 cm
- 4) pustak szczelinowy DZ-220, 9 cm
- 5) tynk cementowo-wapienny, 1,5 cm (zewnątrzny)

Rys. 2. Przekrój ściany pełnej budynku 1.

Tabela 1. Parametry ściany pełnej (północnej)

Mostek cieplny	Typ mostka	Współcz. jednocz.	Ψ_i	L_i	$\Psi_i \cdot L_i$
			W/m·K	m	W/K
Naroże (ściana/ściana)	C2	0,5	0,1	5,2	0,260
Ściana/strop	F5	0,5	0,65	9,1	2,958
Pole powierzchni ściany w osiach przegród do niej prostopadłych				A_{s1}	27,26
Współczynnik przenikania ciepła ściany pełnej				U_{c1}	0,279
Współczynnik przenikania ciepła ściany z mostkami cieplnymi				U_{k1}	0,397
Masa 1 m ² ściany pełnej [kg/m ²]					409,10

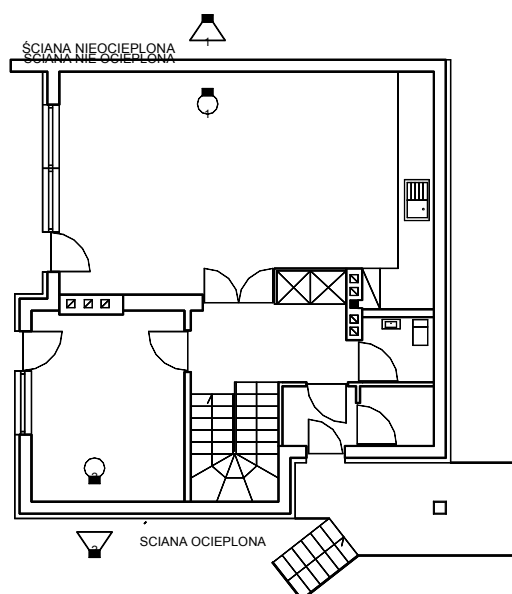
Tabela 2. Parametry ściany z drzwiami balkonowymi (zachodniej)

Mostek cieplny	Typ mostka	Współcz. jednocz.	Ψ_i	L_i	$\Psi_i \cdot L_i$
			W/m·K	m	W/K
Naroże (ściana/ściana)	C2	0,5	0,1	2,6	0,130
Ściana działowa/ściana zew.	IW5	0,5	0,05	2,6	0,065
Ściana/strop	F5	0,5	0,05	4,8	0,120
Nadproże	W8	1	0,60	1,77	1,062
Podokiennik, ościeża	W11	1	0,00	6,07	0,000
Pole powierzchni ściany w osiach przegród do niej prostopadłych				A_{s2}	14,79
Pole powierzchni okien w ich wymiarach zewnętrznych				A_o	3,81
Pole powierzchni ściany bez otworów okiennych				A_2	10,98
Współczynnik przenikania ciepła ściany pełnej				U_{c2}	0,279
Współczynnik przenikania ciepła ściany z mostkami cieplnymi				U_{k2}	0,404
Współczynnik przenikania ciepła drzwi balkonowych				U_o	1,618
Średni współczynnik przenikania ciepła ściany z drzwiami balkonowymi				U_{sr}	0,716
Masa 1 m ² drzwi balkonowych [kg/m ²]					26,0
Średnia masa 1 m ² ściany z drzwiami balkonowymi [kg/m ²]					310,5

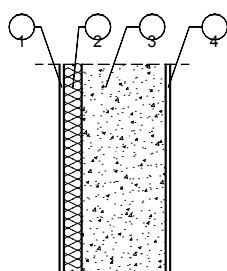
Obiekt 2. to budynek mieszkalny jednorodzinny, oryginalny, z projektu typowego W-026. Jest budynkiem wolno stojącym, całkowicie podpiwniczonym, parterowym, z poddaszem użytkowym. Ponieważ budynek nie był całkowicie wykończony z zewnątrz (w części docieplony), wybrano go w celu porównania izolacyjności ścian z dociepleniem zewnętrznym i istniejącej ściany nieotynkowanej. Ściany zewnętrzne wykonane są z bloczków betonu komórkowego odmiany 800 na zaprawie cementowo-wapiennej o grubości 38 cm i pokryte tynkiem cementowo-wapiennym o grubości 1,5 cm od wewnątrz. Do ocieplenia budynku zastosowano metodę lekką mokrą, styropian (PS-E FS 15) o grubości 8 cm i tynk cienkowarstwowy. W budynku zamontowano okna i drzwi balkonowe drewniane jednoramowe z drewna jednorodnego o współczynniku przenikania ciepła $U_f = 1,69 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$, obliczonym wg PN-EN ISO 10077-1. Okna oszklone są jednokomorowymi szybami zespolonymi zwykłymi o współczynniku przenikania ciepła $U_g = 2,83 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$, obliczonym wg PN-EN ISO 10077-1. Obiekt ten przedstawia fot. 2., a rzut parteru z zaznaczonymi punktami pomiarowymi rys. 3. Konstrukcję ściany ocieplonej styropianem i istniejącej nieocieplonej pokazano na rys. 4., natomiast parametry cieplne badanych przegród przedstawiono w tab. 3. i 4.



Fot. 2. Budynek 2.



Rys. 3. Rzut parteru z zaznaczonymi punktami pomiarowymi w budynku 2.



Konstrukcja ściany zewnętrznej ocieplonej:

- 1) tynk cienkowarstwowy, 0,5 cm (zewnątrzny)
- 2) styropian, 8 cm
- 3) beton komórkowy odmiany 800, 38 cm
- 4) tynk cementowo-wapienny, 1,5 cm (wewnętrzny)

Rys. 4. Przekrój ściany pełnej ocieplonej

Tabela 3. Parametry ściany zewnętrznej nieocieplonej (południowej)

Mostek cieplny	Typ mostka	Współcz. jednocz.	Ψ_i	L_i	$\Psi_i \cdot L_i$
			W/m·K	m	W/K
Naroże (ściana/ściana)	C4	0,5	0,05	5,1	0,128
Ściana/strop	F5	0,5	0,60	15,94	4,782
Pole powierzchni ściany w osiach przegród do niej prostopadłych				A_{s1}	23,80
Współczynnik przenikania ciepła ściany pełnej				U_{c1}	0,842
Współczynnik przenikania ciepła ściany z mostkami cieplnymi				U_{k1}	1,048
Masa 1 m ² ściany pełnej [kg/m ²]					331,75

Tabela 4. Parametry ściany zewnętrznej po dociepleniu styropianem (północnej)

Mostek cieplny	Typ mostka	Współcz. jednocz.	Ψ_i	L_i	$\Psi_i \cdot L_i$
			W/m·K	m	W/K
Naroże (ściana/ściana)	C1	0,5	0,15	2,55	0,191
Ściana działowa/ścianazew.	IW1	0,5	0,05	2,55	0,064
Ściana/strop	F1	0,5	0,05	6,54	0,164
Pole powierzchni ściany w osiach przegród do niej prostopadłych				A_{s2}	10,03
Współczynnik przenikania ciepła ściany pełnej				U_{c2}	0,336
Współczynnik przenikania ciepła ściany z mostkami cieplnymi				U_{k2}	0,378
Średnia masa 1 m ² ściany po dociepleniu [kg/m ²]					342,20

3. Metodyka badań

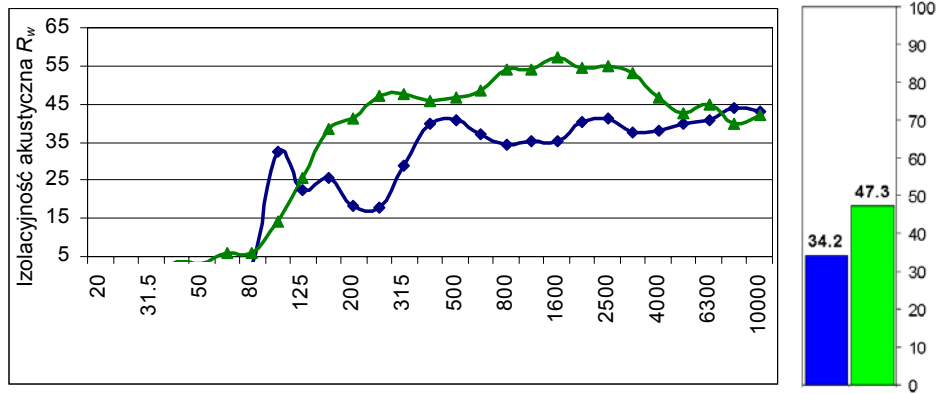
Do pomiarów użyto zestawu analizatorów typu SVAN-912 oraz B&K 2260. Stosowano wymuszenia:

- białym szumem,
- losowym sygnałem muzycznym.

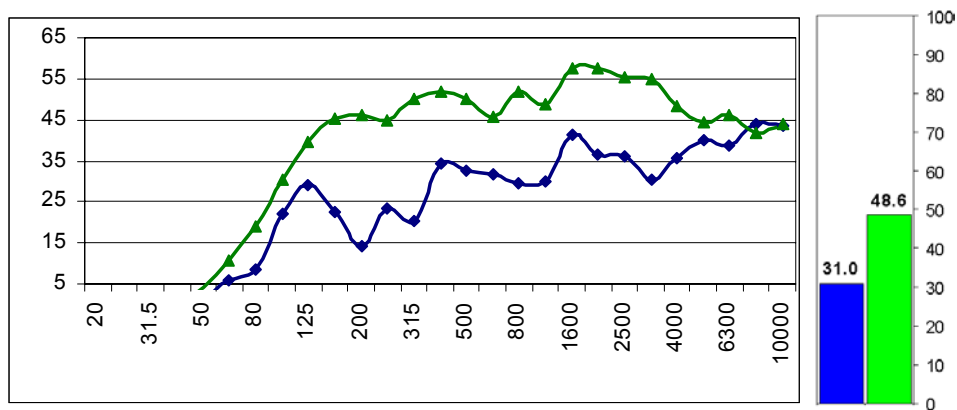
Do wymuszenia dźwięku wykorzystano kolumny głośnikowe typu 4296. Mierzono poziom ciśnienia akustycznego przy źródle L_1 oraz poziom ciśnienia akustycznego po przeciwnej stronie przegrody (ściany) L_2 . Na podstawie znanych wzorów wyznaczono izolacyjność akustyczną R_w w funkcji tercjowych pasm częstotliwości w zakresie od 20 do 12,5 kHz.

4. Wyniki badań i obliczenia

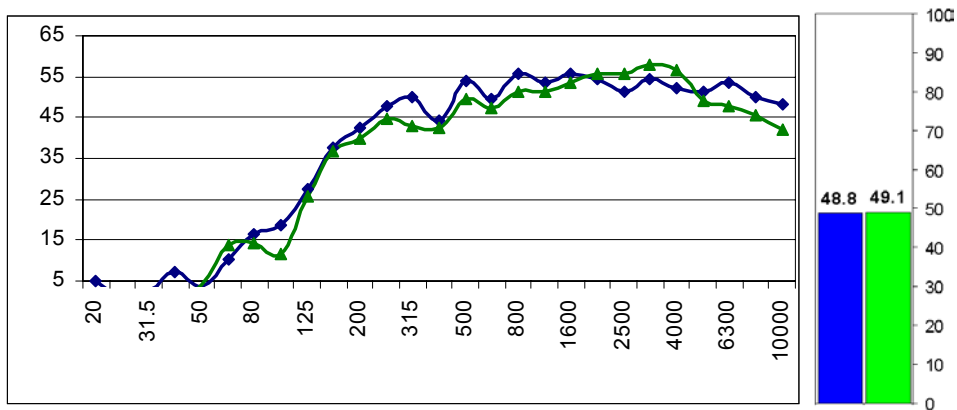
Wyniki badań przedstawiono w postaci charakterystyk izolacyjności akustycznej w funkcji częstotliwości tercjowych dla dwóch rodzajów wymuszenia oraz różnych konstrukcji przegród w obiekcie 1. i 2. (rys. 5-8).



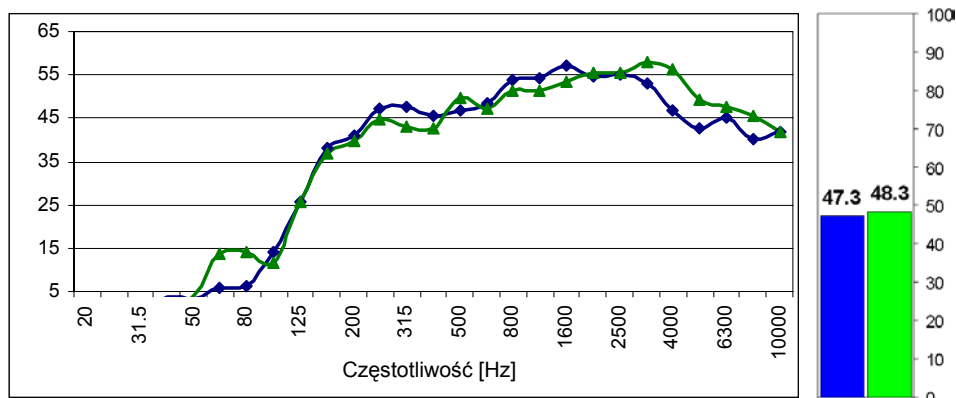
Rys. 5. Izolacyjność akustyczna R_w w funkcji częstotliwości dla ściany pełnej (—▲—) i ściany z oknem (—◆—) przy wymuszeniu szumem dla budynku 1.



Rys. 6. Izolacyjność akustyczna R_w w funkcji częstotliwości dla ściany pełnej (—▲—) i ściany z oknem (—◆—) przy wymuszeniu losowym sygnałem muzycznym dla budynku 1.



Rys. 7. Izolacyjność akustyczna R_w w funkcji częstotliwości dla ściany ocieplonej (—▲—) i ściany nieocieplonej (—◆—) przy wymuszeniu szumem dla budynku 2.



Rys. 8. Porównanie izolacyjności akustycznej ścian pełnych budynku 1. (◆) i budynku 2. (▲)

5. Podsumowanie

Na podstawie przeprowadzonych badań akustycznych i obliczeń cieplnych można wykazać, że:

- przyjęta do badań metoda pomiarów akustycznych oraz metoda obliczeń cieplnych daje możliwość porównania izolacyjności akustycznej i izolacyjności cieplnej ścian zbudowanych na obiektach 1. i 2.,
- izolacyjność akustyczna ściany pełnej w całym mierzonym paśmie częstotliwości jest znacznie wyższa niż ściany z oknem, jak również znacznie wyższa jest izolacyjność cieplna,
- ściana trójwarstwowa (budynek 1.) pełna wykazuje izolacyjność akustyczną porównywalną ze ścianą dwuwarstwową (budynek 2.), przy porównywalnej izolacyjności cieplnej i tej samej całkowitej grubości ściany,
- wyznaczona izolacyjność akustyczna i cieplna dają odpowiednią informację do celów optymalizacji ścian budowanych w obiektach rzeczywistych.

Badania wykonano jako badanie wstępne celem rozeznania zjawisk akustycznych i cieplnych oraz wzajemnych wpływów na ich wartości oczekiwane w budowanych domach jednorodzinnych.

Literatura

1. Klemm P. i in., *Budownictwo ogólne. Tom 2: Fizyka budowli*. Arkady 2006
2. Zakrzewski T., *Akustyka budowlana*. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 1997
3. Szudrowicz B., Żuchowicz-Wodnikowska I., Tomczyk P., *Właściwości dźwiękoizolacyjne przegród budowlanych i ich elementów*. ITB, Warszawa 2002
4. Engel Z., *Ochrona środowiska przed drganiami i hałasem*. PWN, Warszawa 1993

**THE INSULATING POWER AND HEAT INSULATING
OF BUILDING BARRIERS****S u m m a r y**

The paper presents results of researches insulating power and heat insulating of external building barriers in different structures. Researches were carried out in existing individual houses. Heat insulating calculation were executed on building barriers. On the basis of heat and acoustic parameters comparison evaluated validation of building structure walls solution.

Złożono w Oficynie Wydawniczej w czerwcu 2007 r.

Dorota PAPCIAK
Jadwiga KALETA
Alicja PUSZKAREWICZ
Politechnika Rzeszowska

PROCESY KOROZYJNE W INSTALACJACH MIEDZIANYCH A JAKOŚĆ WODY

W artykule przedstawiono odmiany zniszczeń korozyjnych materiałów miedzianych, omówiono przyczyny i czynniki przyspieszające procesy korozji oraz opisano wpływ zjawisk korozyjnych na jakość wody. Z analizy przeprowadzonych i opisanych badań wynika, że działanie wody może (ale nie musi) powodować korozję nawet tak odpornych materiałów jak miedź. Znajomość mechanizmów korozji umożliwia jednak zastosowanie odpowiednich środków zabezpieczających. Najskuteczniejszym naturalnym sposobem zapobiegania lub ograniczania zjawisk korozyjnych jest kontrola jakości wody. Aby zapobiegać skutkom korozji w instalacjach, najbezpieczniej jest przed rozpoczęciem jakichkolwiek prac instalacyjnych i wprowadzeniem wody do obiegu zbadać jej skład oraz obliczyć wskaźniki korozyjności. Pozwolą one określić, jaki rodzaj materiału zastosować, aby zwiększyć trwałość instalacji.

1. Wprowadzenie

W ostatnich latach dużo miejsca poświęca się miedzi jako materiałowi używanemu do transportu wody zarówno grzewczej, jak i przeznaczonej do spożycia przez ludzi. Trwałość instalacji miedzianych związana z dużą odpornością korozyjną miedzi jest istotnym argumentem przy podejmowaniu decyzji o wyborze materiału instalacji wodnych w budynkach.

Stwierdzono, że koszt instalacji miedzianych jest niewiele większy od kosztu instalacji stalowych i mniejszy od kosztu instalacji z tworzyw sztucznych. Jednak miedź, ze względu na swoje właściwości i parametry (oczywiście jeśli są przestrzegane wymagania dotyczące tego metalu), zaliczana jest do jednego z lepszych i stosunkowo niedrogich materiałów instalacyjnych [1].

Zjawisko korozji jest w chwili obecnej dostatecznie poznane, aby móc postawić odpowiednie wymagania odnośnie do projektowania, wykonywania i eksploatacji instalacji, skutecznie zapobiegając uszkodzeniom i zapewniając równocześnie odpowiednią (40÷50-letnią) trwałość instalacjom miedzianym.

Miedź ma opinię materiału odpornego na działanie większości środowisk. Ponadto charakteryzuje się łatwością obróbki mechanicznej, dobrą plastycznością, dobrym przewodnictwem elektrycznym i cieplnym, a także łatwością łączenia (lutowania). Te właściwości miedzi umożliwiły zastosowanie przewodów miedzianych w wielu systemach instalacyjnych, między innymi w instalacjach ciepłej i zimnej wody użytkowej oraz instalacjach ogrzewczych (włącznie z ogrzewaniem płaszczyznowym: podłogowym i ściennym oraz z zastosowaniem kolektorów słonecznych) [2].

Korozja towarzyszy pracy wszystkich instalacji i urządzeń sanitarnych. Większość problemów korozyjnych dotyczy jednak instalacji wodnych, ale efekty korozyjne spotykane są również w instalacjach powietrznych i gazowych. Mała intensywność procesów korozyjnych warunkuje trwałość i sprawność pracy urządzeń sanitarnych. Chociaż na rynku pojawiają się nowe materiały instalacyjne, to często stwarzają zagrożenie przedwczesną korozją, a tym samym nie dają użytkownikom pewności trwałości instalacji. Nawet miedź uważana za materiał odporny na korozję ulega temu zjawisku.

W artykule przedstawiono informacje na temat zjawisk korozyjnych w wodnych instalacjach sanitarnych wykonanych z miedzi, wskazano przyczyny i czynniki wpływające na zniszczenia korozyjne oraz omówiono wpływ jakości wody na korozję urządzeń miedzianych.

2. Odmiany zniszczeń korozyjnych materiałów miedzianych

Pod pojęciem **korozji** rozumie się zmianę materiału zapoczątkowaną na jego powierzchni i wywołaną przez niezamierzone działanie chemiczne lub elektrochemiczne. Korozję można podzielić na równomierną i lokalną.

Korozja równomierna

Jest najmniej niebezpiecznym zjawiskiem z punktu widzenia zagrożenia trwałości instalacji.

Powodować jednak może zmiany jakości wody przepływającej przez przewody, zarówno w wyniku przechodzenia do wody produktów korozji, jak i rozwoju biofilmów w warstwach produktów korozji.

Aby ograniczyć korozję równomierną w instalacjach sanitarnych, wystarczy przestrzegać zasad stosowania materiałów instalacyjnych w stosunku do wód, z którymi materiały te mają kontakt.

O szybkości procesu korozji równomiernej decydować będą [3]:

- **przepływ wody**, z którym związana jest intensywność transportu tlenu do powierzchni metalu. Na przykład w metalach ulegających pasywacji, przy początkowym wzroście prędkości przepływu wody (zawierającej tlen) może nastąpić pasywowanie metalu i spadek szybkości korozji.

W przypadku metali ulegających korozji erozyjnej wzrost prędkości wody ponad pewną wartość charakterystyczną dla danego metalu będzie powodował znaczne przyspieszenie niszczenia materiału wskutek dwóch równocześnie zachodzących procesów: mechanicznego oddziaływania środowiska i procesów korozyjnych,

- **tworzenie się na powierzchni metalu warstewek produktów korozji**, utrudniających dostęp tlenu do powierzchni metalu, co skutkuje spowolnieniem procesów korozyjnych. Właściwości tych warstewek zależą w dużym stopniu od składu roztworu, rodzaju jonów znajdujących się w wodzie (roztworze), temperatury, a także od właściwości samego metalu.

Ten rodzaj korozji prowadzi do równomiernego ubytku powierzchniowego i do tworzenia się warstw ochronnych z produktów korozji miedzi. Miedź na przykład w środowisku o pH 4÷6 pokrywa się czerwonym tlenkiem miedzi Cu_2O . Przy wartościach pH > 6 metal pokrywa się tlenkiem CuO , a jego zdolności ochronne zależą w dużej mierze od zawartości utleniacza w roztworze (wodzie). Przy wyższym pH (około 6,6) dodatkowo wytrąca się $\text{Cu}(\text{OH})_2$. W wodach wodociągowych obserwuje się często zielone osady zasadowego węgla miedzi(II) – malachitu $\text{CuCO}_3 \bullet \text{Cu}(\text{OH})_2$ czy azurytu $2 \text{CuCO}_3 \bullet \text{Cu}(\text{OH})_2$, które tworzą warstewkę pasywacyjną, zabezpieczając dodatkowo metal przed korozją.

Postać i proces tworzenia się warstw powierzchniowych zależy więc przede wszystkim od składu wody oraz warunków pracy instalacji. Grubość warstwy powierzchniowej nie przekracza jednak kilku dziesiątych części milimetra. Warstwy te mają z reguły kolor zielony lub brązowy, a w przypadku gdy w wodzie znajduje się mało soli, mogą się tworzyć nawet czarne tlenki miedzi.

Korozja powierzchniowa nie prowadzi do szkód w postaci przecieków. Ilość miedzi, która przenika do wody, jest z reguły bardzo mała. Większe ilości miedzi mogą się pojawić wówczas, gdy woda zawiera małe ilości wodorowęglanów i nie jest odkwaszona. Aby temu zapobiegać, zaleca się odkwaszanie wody poprzez napowietrzanie, zwiększanie jej twardości lub alkalizację. Związki miedzi powstające podczas korozji powierzchniowej i przenikające do wody mogą osadzać się również na ceramice sanitarnej w postaci kamienia kotłowego. Bardzo często powodują one jego zabarwienie na kolor niebiesko-zielony. Jednak wykrycie jonów miedzi poprzez zabarwienie osadów wapnia nie musi wcale oznaczać, że jest to uszkodzenie spowodowane korozją miedzi [4].

Korozja lokalna

Jest najbardziej rozpowszechnionym zjawiskiem wśród materiałów instalacji sanitarnych. Z definicji jest to korozja występująca wybiórczo w niektórych miejscach powierzchni metalu poddanego działaniu środowiska korozyjnego.

Korozja lokalna może przebiegać jako:

- korozja wżerowa,

- korozja podosadowa,
- korozja szczelinowa,
- korozja naprężeniowa,
- korozja międzykrystaliczna [5].

Korozja wżerowa

Zachodzi na ogół w środowisku korozyjnym, w którym znajdują się jony zdolne do lokalnego niszczenia warstwy pasywacyjnej pokrywającej metal. Powstawanie wżerów na powierzchni metali obserwowane jest w sytuacjach, w których mała anoda (odsłonięty metal) znajduje się w otoczeniu katody. Taka sytuacja ma miejsce np. na powierzchniach rur miedzianych, w których nie dotrzymano wymagań dotyczących zawartości węgla na wewnętrznych powierzchniach rur. Warstewki węgla na wewnętrznych powierzchniach rur miedzianych tworzą olbrzymie katody wobec miejsc niepokrytych bądź słabiej pokrytych węglem. Intensyfikuje to proces korozji i stwarza niebezpieczeństwo perforacji instalacji [6].

Korozja wżerowa instalacji miedzianych może wystąpić tylko wtedy, gdy jednocześnie jest spełnionych kilka warunków. Wpływają na nią następujące czynniki:

- jakość wody,
- warstewki węgla (będące następstwem procesu tworzenia się rury),
- przekraczanie określonej temperatury ścianki rury podczas lutowania,
- podwyższona zawartość dwutlenku węgla oraz związków manganu,
- warunki pracy,
- jakość powierzchni miedzianych rur i złązek,
- obróbka [7].

Forma wżeru zależy głównie od temperatury wody, jej jakości oraz warunków pracy.

Rozróżnia się zasadniczo dwa rodzaje korozji wżerowej [8]:

- wżer typu I – korozja wżerowa w wodzie zimnej,
- wżer typu II – korozja wżerowa w wodzie ciepłej.

Obydwie odmiany korozji należy rozważać oddzielnie, gdyż różnią się one wyraźnie zarówno pod względem postaci, jak i częstości występowania.

Wżer typu I

Jeśli miedź stale styka się z wodą, na powierzchni powstaje tlenek miedziawy, tworząc warstwę ochronną. Miejsce pozbawione warstwy ochronnej może stać się zaczątkiem korozji wżerowej. Jeśli przewód jest napełniony wodą, w pierwszych tygodniach dochodzi do odbudowy warstwy ochronnej. Budowę warstwy może zakłócić każda nieregularność (np. obce ciała częściowo zakrywające powierzchnię) lub tylko częściowe opróżnienie rur, jak również wszelkie inne nieregularności wewnętrznej powierzchni rur.

Wżer korozyjny typu I odznacza się tworzeniem zasadowych węglanów miedzi w miejscu korozji. Zaatakowane miejsce niemal zawsze na wysokości pierwotnej powierzchni miedzi pokryte jest związaną warstwą tlenku miedzi(I), pod którą w przemiennych proporcjach znajdują się tlenki i chlorki miedzi.

Ogniwa korozyjne, które prowadzą do tego rodzaju korozji, tworzą się bezpośrednio po napełnieniu instalacji wodą. Niektóre miejsca są jednak nieaktywne i nie można założyć, że każde zapoczątkowanie korozji wżerowej musi prowadzić do uszkodzenia instalacji. Można jednak założyć, że wskutek zmiany jakości wody ewentualne bierne ogniwa korozyjne mogą się ponownie uaktywnić. Takie reakcje mogą zostać spowodowane przez następujące zmiany jakości wody:

- wyraźny wzrost zawartości siarczanów,
- centralne uruchomienie instalacji dozującej polifosforany,
- wzrost ilości tlenu rozpuszczonego w wodzie na skutek centralnego napowietrzania [9].

Wżer typu II

Odznacza się on pozornie niezniszczonym wyglądem skorodowanych rur od wewnątrz i na zewnątrz. Po zewnętrznej stronie obserwuje się drobne, igiełkowate otworki. Wewnętrzna strona pokryta jest najczęściej amorficznymi osadami, które wywołują obraz pozornie dobrej ścianki rury. Pod nimi znajdują się liczne wżery, w których obszarze obserwuje się duże ilości produktów korozji, najczęściej siarczanów miedzi. Oprócz tego wżery na całej głębokości wypełnione są głównie tlenkiem miedzi(I).

Korozja wżerowa typu II występuje niemalże wyłącznie w przewodach ciepłej wody użytkowej i w wodach o określonym składzie. Są to wody miękkie, kwaśne, w których musi występować określony stosunek molowy wodorowęglanu i siarczanu. Wżer korozyjny typu II nie wystąpi, gdy odczyn wody $\text{pH} > 6,5$ i stosunek molowy $c(\text{HCO}_3^-) / c(\text{SO}_4^{2-}) > 2$ [9].

Liczba szkód korozyjnych wywołanych przez wżery typu II będzie się zmniejszała, jeśli w ramach oszczędzania energii będzie się unikać wysokich temperatur wody ciepłej. W wodach przeznaczonych do spożycia ten rodzaj korozji właściwie nie występuje, jednak zaleca się sprawdzać temperaturę wody i w razie potrzeby obniżyć ją do wartości poniżej 60°C [9].

Korozja podosadowa

Ten rodzaj korozji występuje najczęściej w bezpośrednim sąsiedztwie osadów produktów korozji lub innej substancji. Ogniwa korozyjne tworzą się w miejscach o zróżnicowanym napowietrzaniu. Anodę stanowią miejsca o trudniejszym dostępie tlenu, katodę zaś miejsca, w których tlen ma dobry dostęp do powierzchni [6].

Korozja szczelinowa

Mechanizm tej korozji jest bardzo zbliżony do mechanizmów korozji podosadowej i wżerowej. Siłą napędową ogniwa korozyjnego jest różnica stężeń tlenu w szczelinie i poza nią, gdzie dostęp tlenu jest swobodny. Korozji szczelinowej ulegają najczęściej metale będące w stanie pasywnym w danym środowisku korozyjnym. Szczeliny powstają najczęściej w wyniku złego wykonawstwa instalacji [6].

Korozja naprężeniowa

Korozja naprężeniowa jest wynikiem jednoczesnego oddziaływania naprężeń i specyficznego środowiska korozyjnego. W środowisku tym mogą występować różne składniki (związki chemiczne, jony metali), które mogą powodować inicjowanie i rozwój pęknięć korozyjnych.

Pęknięcie korozyjne, podobnie jak korozja wżerowa, jest procesem dwuetapowym. Pierwszy etap to inkubacja, w czasie której następuje zarodkowanie szczelin. W wyniku działania naprężeń, jakim podlega lokalnie metal, w miejscach tych uszkodzona zostaje jego warstwa pasywna. Odsłonięta powierzchnia tego metalu staje się miejscem anodowym i ulega rozpuszczeniu, tworząc wąską szczelinę, na dnie której koncentrować się będą naprężenia.

W stadium właściwym zachodzi natomiast rozwój szczelin, które z mniejszą lub większą prędkością rozprzestrzeniają się w głąb metalu. W szczelinie korozyjnej wytwarza się ogniwo stężeniowe, w którym anodą jest odnawiające się dno szczeliny, katodą zaś zewnętrzna powierzchnia metalu. Prowadzone badania wykazały, że najbardziej podatne na ten rodzaj korozji są stopy metali [10].

3. Wpływ zjawisk korozyjnych na jakość wody

Wpływ na zanieczyszczenie wody mają warunki pracy sieci – największe zagrożenie stwierdza się tam, gdzie jest mały pobór wody. Istotny wpływ na zawartość jonów metali i produktów korozji ma także średnica przewodów, a przede wszystkim stosunek wielkości wewnętrznej powierzchni rur do ilości przepływającej wody, która szczególnie narażona jest na zanieczyszczenie produktami korozji w strefach mieszania, tzn. w obszarach zasilania wodą z różnych źródeł o odmiennym składzie. W takich miejscach występują produkty korozji o bardzo słabych właściwościach ochronnych. Ponadto w obszarach mieszania występują częste zmiany kierunku przepływu wody, co powoduje odrywanie produktów korozji od powierzchni rur.

Bardzo często spotyka się również niestabilne wody wodociągowe, powodujące zmiany w sieciach wodociągowych, które można zaobserwować po pewnym czasie ich eksploatacji. Taka woda może również powodować korozję metali [11÷14].

Na obniżoną stabilność wody wpływa rozwój mikroorganizmów. Na to zjawisko nakładają się dwa procesy: rozwój bakterii w wodzie podczas jej dystrybucji i magazynowania jako zjawisko pierwotne i wynikająca z tego zwiększona liczba bakterii, w porównaniu do wody opuszczającej stację uzdatniania, oraz wtórne zanieczyszczenie mikrobiologiczne, spowodowane procesem korozyjnym. Rozwój kolonii bakterii na ścianach rurociągów jest również przyczyną niekorzystnych zmian współczynnika tarcia, a w niektórych przypadkach również zmniejszania światła przewodów, co powoduje zwiększanie zużycia energii na transport wody. Z rozwojem bakterii wiąże się też problem korozji rurociągów wywołanej solubilizacją metali, powodowaną rozwojem mikroorganizmów. Solubilizacja metali może być zresztą związana nie tylko z rozwojem mikroorganizmów, ale również z obecnością podatnego na biodegradację węgla organicznego. W tym przypadku mechanizm przechodzenia metali do roztworu polega na kompleksowaniu kationów tych metali przez ligandy grup funkcyjnych związków organicznych, takich jak: kwasy karboksylowe, aminokwasy, węglowodany, fenole i inne [11].

Możliwe jest również wtórne zanieczyszczenie mikrobiologiczne wody wodociągowej związane z procesami korozyjnymi. Obecność produktów korozji na powierzchniach wewnętrznych przewodów, przez które przepływa woda do picia, sprzyja tworzeniu się filmu biologicznego. Zjawisko to występuje zarówno w sieciach zewnętrznych, jak i w instalacjach wewnętrznych. Intensywność tworzenia się takiego biofilmu oraz jego podatność na procesy dezynfekcji zależy w dużej mierze od materiału instalacyjnego.

Zanieczyszczeniom wody wodociągowej sprzyja długi czas jej pobytu w zbiornikach lub przewodach przepływowych. Wtórne skażenie mikrobiologiczne wody następuje w wyniku oderwania się osadów od ścianek instalacji sanitarnych. Biofilmy rozwijające się na powierzchni przewodów instalacji wewnętrznych ciepłej wody użytkowej sprzyjają również rozwojowi bakterii *Legionella* [11].

Do oceny korozyjności wody wykorzystywane są liczne indeksy. Ze względu na złożoność procesów korozji żaden z nich nie zapewnia pełnej oceny szybkości korozji przebiegającej w środowisku wodnym. Są to przede wszystkim wskaźniki pozwalające na porównanie korozyjności różnych wód i oszacowanie agresywnego charakteru wody. Niejednokrotnie zdarza się, że woda o dobrej w świetle przepisów sanitarnych jakości jest wodą korozyjną i niestabilną, przynoszącą duże straty gospodarcze [12, 15, 16].

4. Przyczyny i czynniki przyspieszające procesy korozji materiałów miedzianych

Warunki wodne

Właściwości wody są takie, że ułatwiają korozję, ale w żadnym wypadku nie muszą jej powodować. Prawdopodobieństwo korozji jest o wiele większe w wodach gruntowych niż powierzchniowych. Wody gruntowe zawierają zazwyczaj agresywny dwutlenek węgla, który jest jedną z głównych przyczyn korozji. Właściwości wody nie ulegają nagłym zmianom, stąd też ważne jest zachowanie wymagań jakościowych, by wykluczyć czynniki wpływające na korozję, a tym samym uniknąć szkód.

W ostatnich latach prowadzone są również liczne badania mające na celu określenie wpływu jakości wody na korozję urządzeń miedzianych oraz wskazanie przyczyn i sposobów jej zapobiegania. Odporność korozyjna instalacji sanitarnych zależy w znacznym stopniu od składu chemicznego wody.

W wyniku badań nad wpływem sposobu uzdatniania różnego typu wód na ich korozyjność w stosunku do miedzi stwierdzono, że awarii ulegają zarówno instalacje dwu-, jak i kilkunastoletnie, a przyczyną uszkodzeń jest właśnie nieodpowiedni skład wód [14].

Czynniki powodujące korozję miedzi to:

- stężenie tlenu rozpuszczonego $> 0,1 \text{ mgO}_2/\text{dm}^3$ przy równoczesnej obecności kwasu węglowego,
- duże stężenie chlorków,
- obecność kwasów utleniających, np. kwasu siarkowego,
- zawartość amoniaku $> 0,5 \text{ mg}/\text{dm}^3$ i związków amonowych,
- obecność siarkowodoru w wodach zawierających siarczki,
- odczyn pH poniżej 6,
- zawartość manganu $> 0,5 \text{ mg}/\text{dm}^3$ [16].

W wyniku badań stwierdzono, że niebezpieczeństwo korozji zmniejszają jony wodorowęglanowe i niektóre związki organiczne. Korozję miedzi przyspieszają natomiast jony siarczanowe, chlorkowe, azotanowe i amonowe. Woda powinna posiadać taki skład, aby sprzyjał on tworzeniu się ochronnego filmu węglanowego, a stosunek stężeń kwaśnych węglanów do siarczanów był większy od 2 [17].

Ze względów profilaktycznych nie należy używać wody, która stała dłuższy czas w instalacji (np. po dłuższym urlopie – nieobecności w domu). Należy ją po prostu spuścić z instalacji. Użytkownicy indywidualnych ujęć wodnych dla własnego bezpieczeństwa i komfortu powinni zlecać okresowo analizę próbek wody niezależnie od materiału, z którego wykonana jest instalacja wodna. Niebiesko-zielone zabarwienia na umywalce lub wannie oraz na wylotach armatur nie są

sygnałem za wysokiej koncentracji miedzi w czerpanej wodzie. Są to osady wapienne, które zabarwiają się nawet bardzo małą ilością miedzi.

Duże stężenie miedzi w czerpanej wodzie może stać się potencjalnym zagrożeniem zdrowia odbiorców. Warto podkreślić jednak bakteriobójcze działanie miedzi. Podstawowym parametrem decydującym o przydatności wody do picia jest jej mikrobiologiczna jakość. Określa się ją na podstawie oznaczeń ilości w wodzie mikroorganizmów, które stanowią potencjalne zagrożenie zdrowia ludzkiego. Dwa typy chorobotwórczych drobnoustrojów są tu szczególnie ważne: wirusy i bakterie.

Oddziaływanie miedzi na wirusy stało się przedmiotem badań, w wyniku których wyznaczano wartość współczynnika dezaktywacji dla różnych materiałów (tworzyw sztucznych, stali i miedzi). Po 30 dniach stwierdzono, że miedź ma największe działanie bakteriobójcze, które potęguje się jeszcze przez oddziaływanie cząstek wolnego chloru pozostałego po dezynfekcji wody. Miedź przeciwdziała rozwojowi bakterii *Legionella* [18].

Opisano szereg przypadków zwiększenia stężenia miedzi w transportowanej wodzie, wywołanego obecnością bakterii na powierzchni metalu. Czynniki zwiększającymi podatność na korozję mikrobiologiczną instalacji miedzianych są: niskie stężenie wolnego chloru lub jego brak, niski odczyn pH oraz towarzysząca mu mała twardość i zasadowość wody, duża zawartość materii organicznej, okresy stagnacji wody i podwyższona temperatura [19].

Najwolniej korozji ulegała miedź zanurzona w wodzie zmiękczonej i odtlenionej, a najszybciej zmiękczonej, odtlenionej, z dodatkiem inhibitora. Brak obecności tlenu uniemożliwia tworzenie pasywacyjnej warstwy ochronnej, a źle dobrany inhibitor przyspiesza korozję [20].

Analizowano także wpływ jakości zimnej wody użytkowej na zjawiska korozyjne. Do badań użyto wody z sieci miejskiej w Tarnobrzegu, Stalowej Woli i Rudnika nad Sanem. Były to wody miękkie o niskiej zasadowości – agresywne. Stwierdzono, że w celu pozbawienia wody właściwości agresywnych należy poddać ją procesowi odkwaszania, który powinien być połączony z usuwaniem żelaza i manganu [13].

Centralny Ośrodek Badawczo-Rozwojowy Techniki Instalacyjnej „INSTAL” z Warszawy wykonał ekspertyzy dotyczące stanu wewnętrznych instalacji wykonanych z miedzi. Badania przeprowadzono na instalacjach, których okres eksploatacji w budynkach wynosił od 2 do 25 lat oraz na instalacji miedzianej pracującej od 70 lat. Stan przewodów był bardzo dobry. Na wewnętrznych powierzchniach rur nie stwierdzono uszkodzeń korozyjnych, osadów czy też zmniejszenia grubości przewodów, co zagrażałoby ich trwałości. Stwierdzono, że jakość wody nie miała istotnego wpływu na stan przewodów.

Zawartości jonów miedzi w wodzie wodociągowej, tak w instalacji ciepłej, jak i zimnej wody, były niższe od wartości zalecanych normami Światowej Organizacji Zdrowia. Nie stwierdzono też zależności pomiędzy jakością wody wodociągowej a stężeniem jonów miedzi w wodzie pobranej z instalacji [21].

„INSTAL”, na zlecenie Polskiego Centrum Promocji Miedzi, przeprowadził również na terenie Polski badania jakości wody w wewnętrznych instalacjach wodociagowych wykonanych z miedzi. Oceną objęto 21 obiektów, w których znajdują się instalacje z miedzi.

W wyniku przeprowadzonych analiz stwierdzono, że zawartość miedzi w badanych próbkach wahała się w granicach od 0 do 4,9 mg/l. Stężenie to zależało przede wszystkim od warunków, w jakich pobierana była próbka. Generalnie zauważyć można, że stężenie jonów miedzi było najmniejsze w budynkach wielorodzinnych, a największe tam, gdzie zużycie wody jest małe. Wiek instalacji i rodzaj wody zasilającej nie miały istotnego znaczenia, o ile tylko spełnione były warunki stawiane wodzie do picia [19].

W 1998 roku CORBIT „INSTAL” dokonał oceny pracujących instalacji z rur miedzianych w 10 różnych miejscowościach. Instalacje zasilane były wodami o różnym składzie fizykochemicznym i zróżnicowanej agresywności. Uwzględniając zawartość jonów miedzi w wodzie, stwierdzono, że jakość wody nie miała istotnego wpływu na korozję tych instalacji. W opracowaniu nie podano jednak dokładnego składu analizowanej wody [22].

Analizując przeprowadzone badania, można wnioskować, że działanie wody może – ale nie musi – powodować korozję, nawet tak odpornych materiałów jak miedź. Znajomość mechanizmów korozji umożliwia jednak zastosowanie odpowiednich środków zabezpieczających.

Najskuteczniejszym naturalnym sposobem zapobiegania lub ograniczania zjawisk korozyjnych jest kontrola jakości wody. W wodach miękkich, o niskim pH, małej zasadowości i dużej zawartości substancji organicznych należy zapewnić obecność chloru wolnego w ilości $> 0,1$ mg/l, a w przypadku instalacji ciepłej wody użytkowej utrzymywać temperaturę na poziomie nie niższym niż 60°C . Jeśli chlorowanie wody powoduje wzrost stężenia jonów miedzi w transportowanej wodzie, należy podwyższyć odczyn pH do wartości ok. 8. W przypadku wód o dużej zasadowości i twardości należy pamiętać o kontroli stanu równowagi węglanowo-wapniowej, aby nie dopuścić do nadmiernego wytrącania osadów i zarastania instalacji.

Warunki eksploatacyjne

Czas eksploatacji instalacji rozpoczyna się od momentu jej napełnienia. Wszystkie czynniki działające na wewnętrzną powierzchnię rury określane są jako warunki eksploatacyjne. Najbardziej niekorzystne są te czynniki, które mogą wywołać nierówności na wewnętrznej powierzchni rury, utrudniające lub zakłócające wytwarzanie się warstwy ochronnej. Należą do nich:

- osady nierównomiernie pokrywające wewnętrzną powierzchnię rury (zalicza się do nich cząsteczki wypłukanych z sieci ciał stałych),
- pęcherzyki gazu, jeśli utrzymują się one przez dłuższy czas na ściankach rury.

Nie należy jednak zakładać, że każda cząstka musi być źródłem korozji. Nawet w najbardziej niekorzystnych warunkach wodnych uszkodzenie nie powstanie, jeżeli cząsteczki osadów lub pęcherzyki gazowe zostaną przetransportowane dalej. Problem pojawia się dopiero wówczas, gdy osiadają one na stałe w przewodach, nie dopuszczając do powstawania warstwy ochronnej. Jeśli jednak po dłuższej pracy instalacji wytworzyła się warstwa ochronna, osady takie nie mają żadnego wpływu na korozję rury miedzianej.

Rury nie mogą być w żadnym wypadku napelniane wodą do połowy, gdyż jest to powodem największych nieregularności i najszybciej powoduje wżery. Szczególnie narażona jest strefa, w której wewnętrzna ściana rury ma kontakt z wodą i powietrzem jednocześnie [23].

Material

Badając czynniki wpływające na korozję wżerową, zauważono również znaczenie materiału. Niekorzystną rolę odgrywają warstwy węgla pokrywające często powierzchnię miękkich rur miedzianych. Duża zawartość węgla może spowodować perforacje rury i wzrost zawartości jonów miedzi w przepływającej wodzie już po kilku latach eksploatacji. Takie rury są szczególnie podatne na wżery, mimo że warstwy węgla są właściwie niewidoczne dla oka. Obecnie produkowane są rury, których technologia produkcji gwarantuje, że warstwy węgla nie powstaną. Polepszana jest także gładkość rur przez polerownie wewnętrzne [23].

Instytut Metali Nieżelaznych w Gliwicach przeprowadził badania miedzianych rur używanych do transportu wody. Rury te były eksploatowane przez okres od 7 do 100 lat i różniły się między sobą: czasem i warunkami eksploatacji, poziomem czystości i twardości miedzi. Badania wykazały jednak, że skład chemiczny miedzianych rur tylko w nieznacznym stopniu wpływał na rodzaj i szybkość korozji w porównaniu z innymi czynnikami powodującymi ten proces [14].

Warunki instalacyjne

Do grupy zagrożeń związanych z warunkami instalacyjnymi należą przede wszystkim osady, które dostały się do rur w czasie składowania na placu budowy lub w czasie ich instalowania. Są to na przykład: wióry, środki uszczelniające, tynk, piasek itp. Jeśli materiałów tych nie usunięto podczas przepłukiwania, mogą one zakłócać funkcjonowanie instalacji. Do wad instalacyjnych należą również martwe przestrzenie w rurach. Powstają one, gdy wkłada się w siebie rury o różnych średnicach i lutuje je. W tych miejscach woda się nie porusza, a powstałe martwe przestrzenie ułatwiają wżery korozyjne [24].

5. Podsumowanie

Przyczyn korozji w instalacjach miedzianych jest kilka. Początki procesów korozyjnych powoduje szereg czynników, które można podzielić na 4 grupy:

- warunki wodne,
- warunki eksploatacyjne,
- jakość materiału,
- warunki instalacyjne.

Wszystkie wymienione czynniki wpływają na przebieg procesów korozyjnych. Skład i jakość wody decydują o tym, czy ubytek wywołany jest przez wady samego materiału, czy też przez niewłaściwe warunki eksploatacyjne i instalacyjne.

Analizując rodzaje i mechanizmy zniszczeń materiałów miedzianych, zauważyć można, że jedynie w korozji naprężeniowej (pęknięciu korozyjnym) jakość wody nie wpływa na przebieg tego zjawiska. W pozostałych odmianach zniszczeń (korozja powierzchniowa, selektywna, wżerowa, korozja połączona z erozją) skład wody stanowi jeden z najważniejszych czynników korozyjnych.

Do najistotniejszych czynników wpływających na korozyjność i agresywność wody należą:

- zawartość agresywnego dwutlenku węgla,
- odczyn pH,
- stężenie tlenu rozpuszczonego,
- zasolenie,
- temperatura,
- rozwój mikroorganizmów.

W przypadku miedzi największe znaczenie ma stężenie tlenu rozpuszczonego, duże stężenie chlorków oraz związków amonowych. Analizując jednak badania prowadzone nad wpływem składu wody na korozję, można stwierdzić, że zdania na ten temat są podzielone. Podczas określania stanu instalacji miedzianych po różnym czasie ich użytkowania jedne badania znajdują związek pomiędzy składem wody a korozją, inne zaś dokumentują brak powiązań pomiędzy nimi.

Słaba znajomość mechanizmów korozji oraz powiązań między procesami zachodzącymi w instalacjach miedzianych a trwałością tych urządzeń jest również powodem występowania szkód korozyjnych. Aby zapobiegać skutkom korozji w instalacjach, najbezpieczniej jest przed rozpoczęciem jakichkolwiek prac instalacyjnych i wprowadzeniem wody do obiegu zbadać jej skład oraz obliczyć wskaźniki korozyjności. Pozwolą one określić, jaki rodzaj materiału zastosować, aby zwiększyć trwałość instalacji.

Zjawisko korozji stanowi poważny problem, ale całkowicie nie można go wyeliminować. Zniszczenia korozyjne w środowisku wodnym można jednak zmniejszać przez następujące środki zapobiegawcze:

- używanie sprawdzonego i atestowanego materiału,
- precyzyjne wykonanie prac instalacyjnych,
- dokładne płukanie przewodów,
- zamontowanie filtrów,
- stosowanie właściwych inhibitorów.

Literatura

1. Szulc K., *Analiza porównawcza kosztów instalacji wodnych i grzewczych wykonanych z miedzi, stali i tworzyw sztucznych na przykładzie budynku jednorodzinnego i 5-kondygnacyjnego*. Konferencja: Instalacje z miedzi – gwarancja bezpieczeństwa, estetyki i oszczędności w użytkowaniu budynków, Warszawa 2001
2. Górecki A. i in., *Instalacje wodociągowe, grzewcze i gazowe z miedzi*. Poradnik. Ośrodek Informacji „Technika instalacyjna w budownictwie”, Wrocław 2000
3. Górecki A., *Korozja ogólna, korozja galwaniczna*. Instal, nr 3, 2002, s. 33-37
4. Winkler B., *Korozja miedzi, część 1*. Polski Instalator, nr 2, 1995, s. 7-12
5. Górecki A., *Korozja w instalacjach sanitarnych*. Instal, nr 2, 2002, s. 9-12
6. Górecki A., *Korozja instalacji sanitarnych. Korozja lokalna*. Instal, nr 4, 2002, s. 54-56
7. Niesyt R., *Instalacje wodne i c.o. – miedź i polibutylen*. Rynek Instalacyjny, nr 9, 1999, s. 29-30
8. Dembińska J., *Ocena agresywności korozyjnej wód wodociągowych stosunku do materiałów instalacyjnych*. Gaz, Woda i Technika Sanitarna, nr 11, 1993, s. 274-276
9. Winkler B., *Korozja miedzi, część 2*. Polski Instalator, nr 3, 1995, s. 46-51
10. Górecki A., *Korozja instalacji sanitarnych. Korozja naprężeniowa, korozja międzykryształiczna*. Instal, nr 5, 2002, s. 49-51
11. Balcerzak W., *Jakość wody w systemie jej dystrybucji*. Rynek Instalacyjny, nr 1, 2, 2003, s. 81-84
12. Świdarska-Bróz M., Wolska M., *Korozyjność wody wodociągowej a zjawiska zachodzące w systemie jej dystrybucji*. Gaz, Woda i Technika Sanitarna, nr 1, 2003, s. 10-12
13. Granops M., Kaleta J., Papciak D., *Wpływ jakości wody na korozję i zarastanie osadami instalacji wodociągowych*. IV Naukowa Konferencja Rzeszowsko-Lwowska. Problemy Budownictwa i Inżynierii Środowiska, cz. II. Inżynieria Środowiska, Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 1995, s. 23-28
14. Joszt K., Malec W., *Korozja miedzianych rur do transportu wody*. Ochrona przed korozją, nr 10, 1999, s. 255-260
15. Papciak D., *Korozyjność wody*. VIII Międzynarodowa Konferencja Lwowsko-Ko-szycko-Rzeszowska nt. „Aktualne problemy budownictwa i inżynierii środowiska”, Lwów, 6-11 października 2003, s. 272-278
16. Papciak D., *Ocena jakości i korozyjności wody w Gminie Chmielnik Rzeszowski*. Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej, nr 211, Budownictwo i Inżynieria Środowiska, z. 37, t. 2, Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 2004, s. 277-284

17. Zauchta T., *Nieco inaczej o miedzi*. Polski Instalator, nr 9, 1993, s. 41-42
18. Kubicki J., Dreła I., Mromlińska Z., *Korozja miedzi w wodach naturalnych i pitnych*. V Ogólnopolska Konferencja KOROZJA '96 – Teoria i praktyka, Gdańsk 1996
19. Toczyłowska B., *Aspekt sanitarny stosowania instalacji wodociągowych z miedzi*. Konferencja: Instalacje z miedzi – gwarancja bezpieczeństwa, estetyki i oszczędności w użytkowaniu budynków, Warszawa 2001
20. Granops M., Papciak D., Sito L., *Wpływ jakości wody na korozję urządzeń miedzianych*. Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej, nr 180, Budownictwo i Inżynieria Środowiska, z. 32, t. 2, Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 2000, s. 93-100
21. Wróbel U., *Miedziane rury instalacyjne – trwałe, zdrowe, bezpieczne*. Instalacje, nr 2, 2002, s. 21
22. Górecki A., *Instalacje z miedzi dziś i jutro*. Instalacje Sanitarne, nr 2, 2002, s. 48-49
23. Tpoczewski A., *Jak kontrolować rury miedziane?* Instalacje Sanitarne, nr 3, 2002, s. 50-51
24. Joszt K., Malec W., Jurasz P., *Miedziane instalacje wodne w budownictwie*. Konferencja: Instalacje z miedzi – gwarancja bezpieczeństwa, estetyki i oszczędności w użytkowaniu budynków, Warszawa 2001

CORROSIVE PROCESSES IN COPPER PIPE WATER SYSTEMS AND WATER QUALITY

S u m m a r y

The paper presents various types of corrosive damage to copper materials, discusses their causes and factors which accelerate corrosion processes, as well as describes the effect of corrosion phenomena on water quality.

The analysis of test performed within the project and described here, shows that water action may – but does not have to – cause corrosion of even as corrosion-resistant materials as copper. However, the knowledge of corrosion mechanisms enables application of adequate protective means. Water quality inspection is the most effective natural method of protecting or limiting the corrosion phenomena. The safest way to prevent corrosion consequences in water supply systems is to check water composition prior to starting any installing works and letting water into circulation, and to calculate its corrosive indices. It will permit determining the type of material to be applied in order to increase water system service life.

Złożono w Oficynie Wydawniczej we wrześniu 2007 r.

Dorota PAPCIAK
Justyna ZAMORSKA
Politechnika Rzeszowska

KOROZJA MIKROBIOLOGICZNA W BUDYNKACH POWODOWANA PRZEZ GRZYBY

W artykule opisano źródła i przyczyny korozji mikrobiologicznej powodowanej przez grzyby materiałów stosowanych w budownictwie, tj. drewna, wyrobów papierowych, tworzyw sztucznych, materiałów nieorganicznych, farb i lakierów. Przedstawiono przyczyny infekowania budynków przez grzyby, objawy korozji i metody jej zapobiegania, jak również schorzenia związane z występowaniem grzybów w powietrzu atmosferycznym ze szczególnym uwzględnieniem syndromu „złego” budownictwa.

1. Wprowadzenie

Zjawisko korozji mikrobiologicznej dotyczy większości materiałów organicznych i nieorganicznych. Problem ten nie omija obiektów budowlanych, w których istnieją korzystne warunki do rozwoju mikroorganizmów. W wyniku korozji mikrobiologicznej następuje niszczenie fragmentów budynku, ich wykończeń zewnętrznych i wewnętrznych, a ponadto występują niekorzystne zmiany jakości powietrza wewnątrz budynku, co negatywnie wpływa na zdrowie mieszkańców. W ciągu ostatniego dziesięciolecia na rynku pojawiły się nowe materiały instalacyjne i budowlane, tworzywa sztuczne odporne na korozję. Jednak nadal w większości wykonanych budynków stwierdza się nieprawidłowości, które zagrażają przedwczesnej korozji, a tym samym nie dają gwarancji uzyskania oczekiwanej przez użytkowników trwałości obiektów budowlanych. Jedną z podstawowych przyczyn tego stanu jest nieznanomość mechanizmów zjawisk korozji mikrobiologicznej, a także nieodpowiednio dobrane sposoby zwalczające rozwój mikroorganizmów oraz nieprzestrzeganie przepisów, norm i zasad dotyczących wykonania i eksploatacji budynków.

Celem przedstawionego opracowania jest omówienie przyczyn powstawania oraz metod zapobiegania korozji mikrobiologicznej materiałów budowlanych i wykończeniowych wywołanej przez grzyby.

2. Pochodzenie, charakterystyka i fizjologia grzybów

Grzyby są współtwórcami życia i jego niszczycielami. Różne gatunki współpracują, konkurują lub pasożytują nawet na sobie nawzajem. Rozwijają się wszędzie tam, gdzie mają dostateczną ilość substancji odżywczych, wysoki stopień wilgotności (opt. 70%) i odpowiednią temperaturę (od opt. 16÷28°C do 40°C). Grzybom odpowiada podłoże o pH = 5,6÷6,5. Mają zróżnicowaną organizację ciała: od jednokomórkowych do dużych, złożonych plech o skomplikowanej budowie. Wszystkie grzyby są heterotrofami [1, 2].

Grzyby odżywiają się przez wchłanianie substancji uwalnianych z podłoża, w którym żyją. Może to być martwa materia organiczna albo organizmy żywe, najczęściej rośliny, ale także zwierzęta i ludzie, a nawet inne gatunki grzybów. Substancje odżywcze, aby mogły być wchłonięte, muszą być uprzednio przygotowane [1]. W tym celu strzępki wydzielają kwasy i enzymy na zewnątrz organizmu, aby strawiły materię pokarmową na proste, łatwo przenikające substancje, które mogą być przyswojone. Działalność m.in. grzybów zamyka obieg materii w przyrodzie.

Grzyby są grupą organizmów o polifiletycznym pochodzeniu. Dzisiejsza systematyka umiejscawia je w nadkrólestwie *Eukaryota* (jądrowe) i nadaje im rangę jednego z pięciu królestw: *Fungi*. Mikolodzy doliczyli się we wszystkich biocenozach przynajmniej 1,5 mln gatunków grzybów. Oficjalnie systematyka mówi o 40 tys. gatunków grzybów pleśniowych [2].

3. Grzyby w powietrzu atmosferycznym

W powietrzu atmosferycznym zewnętrznym grzyby wchodzą w skład bioaerozolu. Z badań przeprowadzonych na terenie całego świata jeszcze w latach 50. przez P.J. van der Werffa wynika, że liczba kolonii waha się w zależności od miejsca badania pomiędzy 3 tys. a 10 tys./m³. Najczęściej występującymi grzybami są *Cladosporium*, *Alternaria*, *Penicillium* i *Epicoccum* [3].

Liczba oraz zróżnicowanie rodzajów grzybów w powietrzu zależą od wielu czynników, takich jak klimat, stopień zurbanizowania, charakter fauny i flory, ale również od godziny dnia lub nocy czy występowania opadów. Prawdłowo użytkowane i utrzymane w czystości pomieszczenia budynków zapewniają powietrze tylko nieznacznie odbiegające swoim składem od powietrza na zewnątrz budynku. Nieprawidłowa eksploatacja grozi natomiast znacznym, chorobotwórczym stężeniem mikroflory, dlatego mikroklimat pomieszczeń powinien być utrzymywany w ramach podanych przez normy [3, 4].

4. Źródła i przyczyny infekowania budynków przez grzyby

Zarodniki grzybów stwierdzane w powietrzu pomieszczeń mogą dostać się tam z zewnątrz, np. podczas przewietrzania, lub ich źródło może się znajdować

wewnątrz budynku. Zarodniki są rozsiewane przez grzyby rozkładające drewno, pleśnie porastające ściany, zainfekowane resztki żywności, a nawet kurz z zarodnikami znajdujący się w szczelinach podłóg, ścian i sufitów czy pokrywający materace i dywany. Zwykle w lecie stężenie grzybów wewnątrz budynków jest niewiele mniejsze od stężenia zewnętrznego. Sytuacja ta może jednak ulec zmianie w zimie, gdy mniej intensywnie wietrzy się mieszkanie [5, 6].

Rozprzestrzenianie się zarodników w pomieszczeniu odbywa się pod wpływem nadanej im energii kinetycznej, np. pod wpływem prądów konwekcyjnych powietrza, jak też powodowanej ruchem związanym z wentylacją i klimatyzacją. Zanieczyszczenia biologiczne utrzymują się w powietrzu przez różny okres, w zależności od ich ciężaru [6].

Podobnie jak w atmosferze, zanieczyszczenia biologiczne w budynkach występują w postaci aerozoli. Częsteczka bioaerozolu może być złożona z szeregu komórek lub pojedynczych organizmów. Niektóre z nich są przyłączone do kurzu, inne do kropelek cieczy. Liczba mikroorganizmów w 1 m³ powietrza budynków mieszkalnych waha się pomiędzy 1800 a 300 tys. komórek [3, 7].

5. Schorzenia związane z występowaniem grzybów w powietrzu

Niektóre grzyby mogą się okazać groźne dla człowieka. Pewne gatunki wywołują liczne choroby, jedne łatwe, możliwe do usunięcia, inne przewlekłe i śmiertelne.

Skutki zakażenia grzybiczego można podzielić w zależności od ich charakteru na:

- alergie,
- grzybice,
- zatrucia mikotoksynami,
- syndrom „złego” budownictwa.

Schorzenia aerogenne, czyli przenoszone drogą powietrzną przez wdychanie zarodników, stanowią największe niebezpieczeństwo. Dychawica oskrzelowa to tylko jedna z wielu chorób powodowanych występowaniem grzybów w powietrzu. Alergie u chorych wywołują: *Candida*, *Cladosporium*, *Mucor*, *Penicillium*, *Rhizopus*, *Altelnaria*, *Aspergillus*, *Stemphylium* oraz *Botrytis* [8, 9].

Zatrzymanie się zarodników w drogach oddechowych, gdzie następuje ich intensywny rozwój, prowadzi do uszkodzenia tkanki, a w rezultacie – bez odpowiedniej interwencji – do śmierci osoby zainfekowanej. Najbardziej podatne na schorzenia wywołane przez grzyby są osoby osłabione przebytymi chorobami i przyjmowanymi antybiotykami. Liczne, z uwagi na dużą zakaźność i rozpowszechnienie, grzybice stanowią poważne zagrożenie epidemiologiczne i społeczne [10].

Zagrozenie grzybicze nie konczy sie tylko na pomieszczeniach mieszkalnych. W zakladach pracy, punktach gastronomicznych czy budynkach sluzby zdrowia wystepuja charakterystyczne gatunki grzybow będace często źródelem chorób zawodowych pracujacych osób i częstych klientów.

Najczęściej izolowane, czyli najczęściej występujące w budynkach przemysłowych grzyby przedstawia tab. 1.

Tabela 1. Grzyby niszczące substancję mieszkaniową

Rodzaj	Gatunek
<i>Absidia</i>	<i>A. cylindrospora</i> , <i>A. glanca</i>
<i>Botrytis</i>	<i>B. cinerea</i>
<i>Chaetomium</i>	<i>Ch. crispatum</i> , <i>Ch. elatum</i> , <i>Ch. funiculum</i> , <i>Ch. globusom</i>
<i>Coniophora</i>	<i>C. puteana</i>
<i>Doratomyces</i>	<i>D. microsporum</i>
<i>Fusarium</i>	<i>F. dimerum</i> , <i>F. merismoides</i> , <i>F. negundi</i> i inne
<i>Lentinus</i>	<i>L. lepideus</i> i inne
<i>Serpula</i>	<i>S. lacrymans</i>
<i>Mortierella</i>	<i>M. candelabrum</i> i inne
<i>Mucor</i>	<i>M. plumbeus</i> i inne
<i>Myrothecium</i>	<i>M. verrucaria</i>
<i>Paecilomyces</i>	<i>P. carneus</i> , <i>P. marquandii</i> , <i>P. variabilis</i>
<i>Schizophyllum</i>	<i>S. commune</i>
<i>Scopulariopsis</i>	<i>S. acremonium</i>
<i>Trichoderma</i>	<i>T. polysporum</i> , <i>T. viride</i>
<i>Verticillium</i>	<i>V. chlamydosporium</i> , <i>V. nigrescens</i> , <i>V. tenerum</i>
<i>Zygorrhynchus</i>	<i>Z. molleri</i>

Opracowano na podstawie prac [3, 11].

Ściśle powiązany z charakterem pomieszczenia jest występujący coraz częściej zespół schorzeń związany z przebywaniem w budynkach. Ma się tu do czynienia m.in. z chorobami zawodowymi, ale także ze schorzeniami wywołanymi szkodliwym wpływem budownictwa. Zalicza się tutaj:

- przewlekłe, nieswoiste choroby układu oddechowego (nieżyt nosa, nieżyt oskrzeli, astma oskrzelowa, alergiczne zapalenie pęcherzyków płucnych),
- schorzenia związane ze stosowaniem urządzeń klimatyzacyjno-wentylacyjno-nawilżających (choroby zależne od budownictwa),
- zespół chorobowy „złego” budownictwa.

Przyczyna tego ostatniego jest niewyjaśniona, a podejrzane o jej wywołanie czynniki, takie jak: brak odpowiedniej ilości powietrza, zanieczyszczenie, hałas czy oświetlenie, mnożą się w naukowych publikacjach. Według amerykańskich badaczy z Georgia Tech's Indoor Environment Research Program [12, 13]

do powstania tego schorzenia znacznie przyczyniają się gazy emitowane przez pleśnie. Z całą pewnością można stwierdzić, że mają one swój udział w pogorszeniu samopoczucia i zdrowia ludzi przebywających przez dłuższy czas w „chorym” budynku. Syndrom złego budownictwa nie jest łatwy do zdiagnozowania. Objawy nie są charakterystyczne tylko dla niego: bóle głowy, oczu, nosa, drapanie w gardle, suchy kaszel, swędząca skóra, zawroty głowy, nudności, trudności z koncentracją czy ogólne zmęczenie mogą przecież mieć zupełnie inne przyczyny.

Grzyby mogą zaatakować budynek poprzez zarodniki znajdujące się w powietrzu lub przez zarażone materiały wykorzystane podczas budowy. Po natrafieniu na korzystne do rozwoju podłoże zarodnik szybko rozwija się w grzybnie, a o ile ta może być niewidoczna, to jej owocniki wyrastają na powierzchniach ścian i podłóg.

Czynniki fizyczne mogące sprzyjać rozkładowi materiałów przez drobno-ustroje nie są jedynymi, które decydują o korozji. Równie ważne są czynniki techniczne, na które ma się wpływ. Są one kształtowane już na etapie projektowania, dalej wykonawstwa i konserwacji. Dwa elementy są decydujące: środowisko zewnętrzne i zjawiska wewnątrzmaterialowe, wśród których wymienić trzeba sorpcję wilgoci, kondensację pary wodnej, kapilarny transport wilgoci, dyfuzję i kondensację pary wodnej. Łatwo zauważyć, że głównym sprawcą rozwoju mikroorganizmów, a więc powstania korozji biologicznej jest wilgoć [13, 14].

6. Podatność na korozję mikrobiologiczną materiałów stosowanych w budownictwie

6.1. Drewno

Drewno jest materiałem organicznym zawierającym w swoim składzie celulozę rozkładaną przez grzyby celulolityczne, wśród których dominują podstawczaki. W pierwszym etapie celuloza jest rozkładana do glukozy, a w następnym do wody i dwutlenku węgla. Jednak, aby doszło do tego procesu, drewno budowlane musi być zawilgocone. Wilgotność tego materiału powyżej 18% daje grzybom zielone światło [11, 13].

Zmianom ulegają wszystkie właściwości drewna [15]:

a) Struktura

Drewno zainfekowane grzybem łatwo odróżnić od zdrowego na podstawie wyglądu. Wyodrębnia się cztery typy rozkładu drewna:

- przyrmatyczny (drewno pęka, rozpada się na klocki równej wielkości),
- proszkowaty (drewno kruszy się w palcach, łatwo daje się rozetrzeć na proszek),

- jamkowaty (w drewnie pojawiają się plamki, które wypadają, pozostawiając wgłębienia),
- płytkowy lub blaszkowy (drewno rozpada się na cienkie płyty, najczęściej wzdłuż słoików).

Dwa pierwsze typy kojarzone są z rozkładem brunatnym (destrukcyjnym) i szarym (pleśniowym), dwa pozostałe z rozkładem jasnym (korozyjnym).

b) Skład chemiczny

Rozkład komórek drewna dotyczy celulozy i ligniny, jest to proces biochemiczny powodowany produkowanymi przez grzyby enzymami: celulazą i ligninazą. W zależności od enzymów wydzielanych przez podstawczaki opisano następujące odmiany gnicia:

- brunatne (ciemne, destrukcyjne), przy którym zniszczona zostaje celuloza i hemiceluloza,
- białe jednolite (jasne lub korozyjne), przy którym zniszczone zostają jednocześnie celuloza i lignina,
- białe niejednolite (mozaikowe), przy którym zniszczona zostaje początkowo lignina, a następnie celuloza.

Workowce i grzyby niedoskonałe wywołują rozkład pleśniowy. Ich działanie niszczy celulozę i hemicelulozę, jednak proces ogranicza się do zewnętrznej warstwy drewna, która z czasem odpada płatami. Rozkład drewna powoduje utratę masy materiału, teoretycznie rozkład brunatny do 70%, a szary do 100% [16].

c) Właściwości fizyczne

Rozkład mikrobiologiczny wywołuje zmianę barwy, zapachu, gęstości. W diagnostyce rozróżnia się 4 rodzaje kolorów zarażonego drewna:

- biały (jasny, żółty, kremowy) – działanie korozyjne,
- brunatny (brązowy, czerwony, czarny) – działanie destrukcyjne,
- mozaikowy (kolor niejednolity, smugi, plamy) – działanie korozyjne,
- szary – działanie pleśniowe.

Rozwój grzybów nadaje drewnu specyficzny zapach, np. grzyb podkładowy (*Lentinus lepideus*) – zapach wanilii. Nie często jednak zdarza się, aby zapach był przyjemny. Gęstość zainfekowanego drewna jest mniejsza od gęstości drewna zdrowego.

d) Właściwości mechaniczne

Zmiany mechaniczne zależą od rodzaju atakującego grzyba oraz warunków, w jakich dochodzi do rozkładu. Pewne jest, że działanie grzybów znacznie osłabia drewno pod każdym względem.

Gatunki grzybów infekujących drewno podzielono w zależności od stopnia ich szkodliwości na:

- **grzyby najbardziej szkodliwe**, rozwijające się po infekcji nawet na drewnie suchym, powodują szybkie gnicie – grzyb domowy (*Serpula lacrymans*),
- **grzyby rozwijające się na drewnie** o podwyższonej wilgotności, powodują szybki rozkład na dużych powierzchniach – grzyb piwniczny (*Coniophora puteana*), grzyb domowy biały (*Poria vaporaria*), grzyb kopalniany (*Paxillus panoides*),
- **grzyby szkodliwe na otwartym powietrzu** (mosty, słupy), występują gniazdowo – grzyb podkładowy (*Lentinus lepideus*), grzyb słupowy (*Gloeophyllum sepiarium*), wroślak rzędowy (*Trametes serialis*), gmatwek dębowy (*Dedalea quercina*), hubczak różnobarwny (*Coriolus versicolor*),
- **grzyby mało szkodliwe**, powodują słaby, powierzchniowy rozkład drewna, rozwijają się przy dużej wilgotności – grzyb składowy (*Peniophora gigantea*), powłocznik gładki (*Corticium laeve*) [11].

Na ochronę materiałów drewnianych przed korozją mikrobiologiczną składa się szereg czynności, od poprawnego pozyskania i magazynowania, stosowania odpowiednich środków ochrony, po okresowe konserwacje. Zabiegi zabezpieczające polegają na wprowadzeniu do materiału możliwie głęboko środka impregnacynego.

Metody zabezpieczenia różnią się zarówno techniką wykonania, czasem trwania procesu, jak i stosowanymi impregnatami. Środki ochrony drewna dzieli się generalnie na preparaty o działaniu zabezpieczającym i o działaniu zwalczającym. Usunięcie grzyba jest trudne, kosztowne i bardzo często nie jest czynnością jednorazową. Obecnie rynek polski zatłoczony jest środkami grzybobójczymi. Biorąc pod uwagę dane, że 6 mln Polaków w 2 mln mieszkań jest zagrożonych grzybami wywołującymi gnicie drewna, jest to dobra wiadomość [15].

6.2. Papier i wytwory papiernicze

W budownictwie papier stosuje się w płytach gipsowo-kartonowych, które okazują się bardzo podatne na wzrost grzybów już przy 2% zawartości wilgoci. Także tapety i niektóre papy dachowe zawierają papier. Rozwój grzybów na wytworach papierniczych początkowo ma charakter powierzchniowy, a w późniejszym okresie strzępki wnikają do włókien i rozpoczyna się faza rozkładu celulozy. Warunkiem rozwoju grzyba jest oczywiście wilgoć. Przy wilgotności papieru powyżej 10% każdy wyrób papierowy zostanie opanowany przez grzyby [17].

Procesom rozkładu celulozy towarzyszy wydzielanie wody (rozkład na H₂O i CO₂), wytwarzanie śluzu, zapach stęchlizny, a przede wszystkim przebarwie-

nia. Grzyby „tapetowe” charakteryzują się zróżnicowanymi barwami plam na materiale:

- różowe – *Aspergillus*, *Chaetomium*, *Rhodotorula*, *Fusarium*, *Penicillium*,
- żółte – *Chaetomium*, *Trichoderma*, *Penicillium*,
- szare – *Chaetomium*, *Helminthosporium*, *Epicoccum*,
- szarozielone – *Ulocladium*, *Alternaria*,
- szarobrazowe – *Stachybotrys atra*, *Cladosporium*,
- śliwkowe – *Acrothecium*, *Chaetomium*,
- ceglaste – *Verticillium cinnabarinum*,
- czarne – *Aureobasidium pullulans*, *Phoma violacea* [11].

Zagrzybiony papier traci swoje właściwości fizyczne i chemiczne. Nadaje się jedynie do wyrzucenia. W przypadku tapet nie stosuje się żadnych dodatków grzybobójczych. Jedynym środkiem ochrony pozostaje więc zapobieganie zagrzybieniu. Wilgotność powietrza poniżej 60%, sprawne i szczelne instalacje oraz dobra wymiana powietrza są wystarczające, aby uniemożliwić grzybom rozwój. Zapobieganie zagrzybieniu płyt wiąże się z metodą ich produkcji i użytymi do niej substratami [18].

Samych materiałów papierowych się nie odgrzybia. W przypadku infekcji należy jednak zadbać o to, aby nie doszło do jej rozprzestrzenienia się. Przede wszystkim trzeba usunąć przyczynę rozwoju grzyba, w przypadku tapety odbić pod nią tynk, odkazić cegłę, nałożyć nową warstwę tynku i pomalować farbą o właściwościach grzybobójczych.

6.3. Wykładziny PCV

Wykładziny z polichlorku winylu są bardzo podatne na porażenie pleśnią, organiczna warstwa podkładowa jest idealnym miejscem rozwoju grzybów – wystarczy wilgotność podłoża przekraczająca 3%. Ponadto przeprowadzone wg polskich, niemieckich i międzynarodowych norm badania wykładzin PCV wykazały brak odporności na grzyby niezależnie od stosowanego podkładu [13].

6.4. Wykładziny dywanowe

W produkcji dywanów wykorzystuje się zarówno surowce naturalne, jak i syntetyczne, jednak producenci nie podają informacji na temat odporności na korozję mikrobiologiczną produktu w żadnym z tych przypadków. Skłoniło to Główny Instytut Górniczy w Katowicach do przeprowadzenia testów na wykładzinach. Doświadczeniu poddano 4 próbki. Jedynie wykładziny z podkładem z pianki poliuretanowej okazały się nieodporne na grzyby pleśniowe [11].

6.5. Farby i lakiery

Spośród materiałów wykończeniowych najczęściej używane są wyroby malarskie. Pełnią one funkcje dekoracyjne i chronią pokrywane podłoże przed czynnikami zewnętrznymi. Jednak producenci zbagatelizowali drobnoustroje i w większości nie zadbali, aby wśród tych czynników znalazły się grzyby. Za porażenie powłok malarskich najczęściej odpowiedzialne są cztery rodzaje grzybów: *Aureobasidium*, *Alternaria*, *Cladosporium* i *Phoma* [13].

Do zagrzybienia farb i lakierów oprócz czynników atmosferycznych sprzyjających zakażeniom w dużej mierze przyczyniają się zakażone surowce, łatwo rozkładalne przez mikroorganizmy:

- oleje roślinne będące pożywką dla *Aspergillus niger*, *Aspergillus versicolor*, *Penicillium chrysogenum*, *Paecilomyces variotti*,
- żywice naturalne i syntetyczne, na których wyizolowano po 9 gatunków grzybów,
- emulsja polioctanu winylu, która jest dobrym podłożem dla 14 gatunków grzybów,
- pochodne celulozy „lubiane” przez aż 29 gatunków grzybów celulolitycznych, w tym *Aspergillus flavus* i *Stachybotrys chartarum* [13].

Objawy zagrzybienia mogą się pojawić w farbie jeszcze przed jej użyciem (zmiana konsystencji, przykry zapach, spadek lepkości) lub na powłoce malarskiej (przebarwienia, rozwarstwianie, odpryskiwanie).

Przebarwienia na ścianach można zmyć lub zetrzeć, ale bez generalnego remontu i likwidacji źródła wilgoci takie postępowanie nie przyniesie długotrwałych efektów.

Ochrona przed zagrzybieniem wyrobów malarskich zależy przede wszystkim od producentów, niestety fakty pokazują, że nie są nią zainteresowani, a w przemyśle farbiarskim nie zatrudnia się mikrobiologów. Użytkownicy mogą próbować zabezpieczać powłoki malarskie na własną rękę. Na polskim rynku jest dostępny preparat Preventol zapewniający farbom odporność mikrobiologiczną.

6.6. Tworzywa sztuczne

Obecnie tworzywa sztuczne odgrywają coraz większą rolę w budownictwie. Znajdują zastosowanie w produkcji materiałów podłogowych, okładzin cieplnych, materiałów izolacyjnych, rur i kształtek, materiałów do krycia dachów i wielu innych. Wśród odpornych na korozję znalazły się tworzywa sztuczne, takie jak: polietylen, politetrafluoroetylen, polichlorotrifluoroetylen, polipropylen, poliizobutylen, polistyren, polichlorek winylu twardy, polichlorek winylidenu, poliwinylkarbazol, poliwinylbutyral, poliakrylonitryl, poliamid, polieterofitalan etylenu, poliwęglan i żywice: fenolowo-formaldehydowa, rezorcynowo-formaldehydowa, silikonowa, karbamidowo-formaldehydowa, epoksydowa oraz akrylowa [11].

Polichlorek winylu

Wiadomo z wcześniejszych informacji, że tworzywo twarde stosowane do rynien czy kształtek przyjmuje się za odporne mikrobiologicznie, natomiast tworzywa miękkie: folie i wykładziny, nie są odporne na korozję grzybiczą. Porażenie powoduje przebarwienia charakterystyczne dla grzyba (tab. 2.).

Tabela 2. Przebarwienia PVC pod wpływem wybranych gatunków grzybów

Gatunek grzyba	Przebarwienie
<i>Aspergillus versicolor</i>	czerwone
<i>Epicoccum nigrum</i>	od czerwonego do pomarańczowego
<i>Penicillium funiculosum</i>	od czerwonego o różnych odcieniach do pomarańczowego
<i>Penicillium janthinellum</i>	żółte i zielone
<i>Penicillium purpurogenum</i>	czerwone
<i>Penicillium vermiculatum</i>	żółte i czerwone
<i>Penicillium wortmanii</i>	żółte i różowe

Opracowano na podstawie pracy [11].

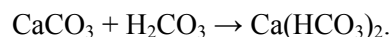
Najlepiej z PVC radzą sobie takie pleśnie, jak: *Aspergillus fumigatus*, *Penicillium chrysogenum*, *Penicillium citrinum*, *Penicillium rugulosum*, *Penicillium spinulosum* [18].

6.7. Materiały nieorganiczne

Cegła, zaprawa, kamień

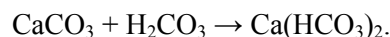
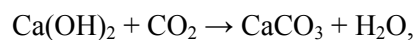
W budownictwie materiały organiczne i nieorganiczne znajdują się w bliskim sąsiedztwie. Grzybnia rozkładająca np. drewno po natrafieniu na przeszkodę, jaką stanowi dla niej np. cegła, wybiera najłatwiejszy sposób jej ominięcia, porastając ją. Ani cegła, ani żaden inny materiał nieorganiczny nie może być źródłem substancji odżywczych dla grzybów. Skoro materiały te nie mogą być wykorzystane przez mikroorganizmy, nie powinny też mieć miejsca ich korozja. Niestety tak nie jest. Drobnoustroje, dokonując porażenia substancji organicznych, wydalają produkty przemiany materii, które powoli osłabiają materiały nieorganiczne.

Działanie grzybów można przedstawić na przykładzie zaprawy wapiennej zawierającej węglan wapnia CaCO_3 . Wydalany dwutlenek węgla rozpuszcza się w wodzie, tworząc kwas węglowy. Ten natomiast, reagując ze wspomnianym węglanem wapnia, tworzy wodorowęglan wapnia:



Powstały związek jest łatwo rozpuszczalny w wodzie i ulega wymywaniu, przez co zaprawa traci spoiwość i siłę wiążącą. Zbliżony proces następuje, jeżeli

zamiast węglanu wapnia mamy wodorotlenek wapnia. W pierwszym etapie poprzez działanie dwutlenku węgla przechodzi on w węglan wapnia, a w kolejnym reakcja powtarza się jak w pierwszym przypadku:



Pomijając działanie dwutlenku węgla, można stwierdzić, że grzyby produkują wiele kwasów organicznych: mlekowy, octowy, cytrynowy, jabłkowy, bursztynowy, które łatwo wchodzi w reakcję z solami wapnia, żelaza i potasu, tworząc związki, takie jak mleczany czy octany. Produkty te mają destrukcyjne działanie na cegłę i kamień, powodując ich przebarwienia, odpryskiwanie, kruшение.

Dowodzono, że sąsiedztwo z materiałami organicznymi nie wychodzi na dobre materiałom nieorganicznym. Duży udział w korozji materiałów nieorganicznych mają wówczas grzyby: *Acrodontium crateriforme*, *Aureobasidium pullulans*, *Cladosporium tenuissimum*, *Penicillium chrysogenum*, *Penicillium echinulatum*, *Penicillium expansum* i *Penicillium roquefortii* [19÷21].

Szkło

Wydawać by się mogło, że materiał taki jak szkło jest całkowicie bezpieczny jeśli chodzi o korozję, tymczasem istnieją pleśnie powodujące nadżerki w szkłe optycznym: *Aspergillus versicolor*, *Aspergillus nigra*, *Penicillium funiculosum*, *Dactylium fusarioides*, *Alternaria tenuis*, *Aspergillus fischeri*. Gatunki te można rozpoznać po wyglądzie powodowanych przez nie nadżerek [22].

7. Podsumowanie

Jak widać z przeglądu materiałów stosowanych w budownictwie, prawie żaden z nich nie jest odporny na korozję mikrobiologiczną powodowaną przez grzyby. Grzyby natomiast występują wszędzie wokół nas i to głównie od nas zależy, czy stworzymy im odpowiednie warunki do rozwoju. Coraz częściej słyszy się doniesienia o nadmiernym rozwoju grzybów w budynkach mieszkalnych. W większości pomieszczeń wynika to ze zbyt słabej wentylacji – co często wymusza rachunek ekonomiczny. Wymienione okna plastikowe w połączeniu z nadmierną oszczędnością ciepła w sezonie grzewczym powodują, że sami sobie szkodzimy. Skutkiem tego jest rozwój grzybów, szczególnie w pomieszczeniach, gdzie jest większa wilgotność powietrza – w kuchni i łazience. Według szacunków objawy zawilgocenia występują w około 15% mieszkań w Polsce. Osoby użytkujące takie pomieszczenia są narażone na szereg schorzeń. Wydaje się, że większa popularyzacja tego problemu jest w tej sytuacji konieczna.

Literatura

1. Piontek M., *Grzyby pleśniowe*. Wydawnictwo Politechniki Zielonogórskiej, Zielona Góra 1999
2. Schlegel H.G., *Mikrobiologia*. PWN, Warszawa 2005
3. Krzysztofik B., *Mikrobiologia powietrza*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1992
4. Kleinheinz G.T., Langolf B.M., Englebert E., *Characterization of airborne fungal levels after mold remediation*. Microbiological Research, 161, 2006, 367-376
5. Gniadek A., Macura A., Oksiejczuk E., Krajewska-Kułak E. et.al., *Fungi in the air of selected social welfare homes in the Małopolskie and Podlaskie provinces – a comparative study*. International Bioterrorism & Biodegradation, 5, 2005, 85-91
6. Piotrowska M., Gutarowska B., Żakowska Z., *Występowanie grzybów pleśniowych w pomieszczeniach mieszkalnych w zależności od sposobu ich użytkowania*. Materiały VIII Sympozjum Mykologów Budownictwa "Ochrona obiektów budowlanych przed wilgocią, korozją biologiczną i ogniem", Ryto 2005
7. Pastuszka J.S., Kyaw T., Paw U., Lis D.O. et.al., *Bacterial and fungal aerosol in indoor environment in Upper Silesia*. Poland, Atmospheric Environmental, 34, 2000, 3833-3842
8. Barkowa T. i in., *Indoor airborne fungi as risk factors in IgE-mediated respiratory allergy*. Aerobiologia, 11, 1995, 119-128
9. Treben M., *Schorzenia dróg oddechowych*. SPAR, Warszawa 1993
10. Romański B., *Alergia i choroby alergiczne*. Państwowy Zakład Wydawnictw Lekarskich, Warszawa 1979
11. Zyska B., *Zagrożenia biologiczne w budynku*. Arkady, Warszawa 1999
12. Buchmiet E., Żakowska Z., *Mikotoksyny w konidiach pleśniowych*. III Konferencja Naukowa „Rozkład i korozja mikrobiologiczna materiałów technicznych”, 8-10 września 2003, Łódź
13. Zyska B., *Mikrobiologiczna korozja materiałów*. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 1977
14. Lee T., Grinshpun S.A., Martuzevicius D., Adhikari A. et.al., *Culturability and concentration of indoor and outdoor airborne fungi in six single-family homes*. Atmospheric Environmental, 40, 2006, 2902-29
15. Ważny J., Karysia J., *Ochrona budynków przed korozją biologiczną*. Arkady, Warszawa 1999
16. Fojutowski A., *Wpływ grzybów sinizny na właściwości drewna sosny*. III Konferencja Naukowa „Rozkład i korozja mikrobiologiczna materiałów technicznych”, 8-10 września 2003, Łódź
17. Zyska B., *Fungi Isolated from Library Materiale: A Review of the Literature*. International Bioterrorism & Biodegradation, 40, 1997, 43-51
18. Ji-Dong G., *Microbiological deterioration and degradation of synthetic polymeric materials: recent research advances*. International Bioterrorism & Biodegradation, 52, 2003, 69-91

19. Cwalina B., *Korozja kamienia i betonu wzbudzona przez drobnoustroje*. III Konferencja Naukowa „Rozkład i korozja mikrobiologiczna materiałów technicznych”, 8-10 września 2003, Łódź
20. Diakumaku E., Gorbushina A.A., Krumbein W.E., Panina L. et.al., *Black fungi in marble and limestones – an aesthetical, chemical and physical proble for the conservation of monuments*. The Science of the Total Environment, 167, 1995, 295-304
21. Pasanen A., Kasanen J., Rautiala S., Ikäheimo M., et.al., *Fungal growth and survival in building materiale dunder fluctuating moisture and temperature cinditions*. International Bioteroration & Biodegradation, 46, 2000, 117-127
22. Sitarz M., Żakowska Z., Kuberski S., *Bioterioracja szkła optycznego*. III Konferencja Naukowa „Rozkład i korozja mikrobiologiczna materiałów technicznych”, 8-10 września 2003, Łódź

FUNGAL CORROSION IN BUILDINGS

Summary

Sources and causes of fungal corrosion of materials used in buildings, i.e. wood, paper products, plastics, inorganic materials, paints and lacquers are described. In particular the paper presents the causes of fungal infections in buildings, fungal corrosion symptoms and methods of preventing it, as well as diseases that are associated with fungi presence in atmospheric air, with special account of the sick building syndrome (SBS).

Złożono w Oficynie Wydawniczej we wrześniu 2007 r.

Vyacheslav PISAREV
Bartosz SAŁACIŃSKI
Joanna DREWNIAK
Politechnika Rzeszowska

PROJEKTOWANIE PROCESÓW UZDATNIANIA POWIETRZA W SYSTEMACH KLIMATYZACJI HAL BASENOWYCH Z WYKORZYSTANIEM OSUSZACZY AUTONOMICZNYCH

W pracy przedstawiono zasadę działania systemów klimatyzacji hal basenowych wykorzystujących osuszacze autonomiczne. Opisano i przedstawiono na wykresach $i-x$ przebieg procesów uzdatniania powietrza w tego typu układach. Na przykładzie opisano również ideę zwiększenia efektywności energetycznej omawianych układów i poszerzenia ich funkcjonalności.

1. Wprowadzenie

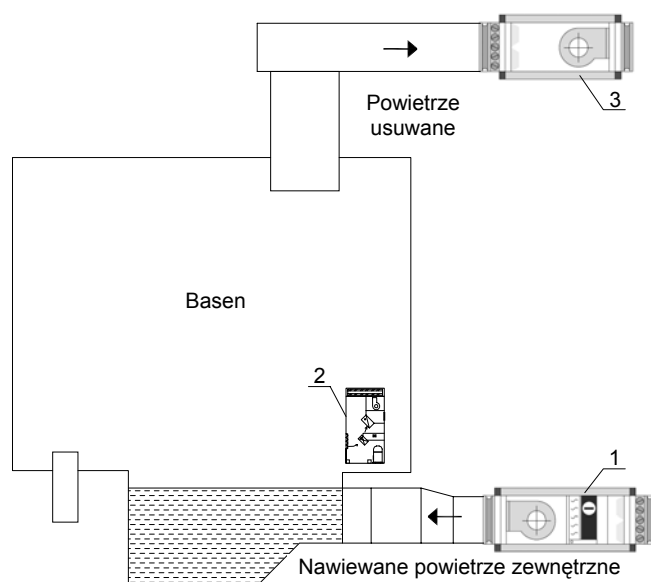
W obiektach krytych pływalni powszechnie występuje zjawisko parowania bardzo dużej ilości wody. Para wodna dostaje się do powietrza zarówno z basenu i wilgotnych powierzchni wokół niego, jak również z kąpiących się osób. Jeżeli zawartość wilgoci w powietrzu nie jest utrzymywana w odpowiednich granicach, wilgotność względna otoczenia ustala się na poziomie, który z punktu widzenia komfortu ludzkiego jest nie do przyjęcia. Dodatkowym negatywnym aspektem tego zjawiska jest wpływ wilgoci na budynek. Ulega on zniszczeniu w wyniku skraplania się pary wodnej na zimnych powierzchniach, co skutkuje między innymi korozją i rozwojem grzybów.

2. System klimatyzacji hali basenowej z osuszaniem powietrza w klimatyzatorach autonomicznych

Modernizowanie starych i projektowanie nowych systemów klimatyzacyjnych w halach basenowych jest procesem często skomplikowanym i kosztownym. Jeżeli systemy wentylacyjne wykorzystują powietrze zewnętrzne do wymiany powietrza wilgotnego w pomieszczeniu i nie posiadają żadnych form odzysku ciepła, to nie zawsze potrafią zapewnić wymagane parametry powietrza

wewnętrznego, co przyczynia się zarówno do obniżenia komfortu użytkowników basenu, jak i zawilgocenia przegród wewnętrznych.

W wielu wypadkach instalacja wentylacyjna (aby możliwa była jej prawidłowa praca) wymaga gruntownego przebudowania. W halach małych pływalni najlepszym rozwiązaniem jest zainstalowanie indywidualnych (autonomicznych) osuszaczy powietrza, których zarówno koszty inwestycyjne, jak i eksploatacyjne są małe [1]. Układy wykorzystujące klimatyzatory autonomiczne opierają się na cyklu chłodzenia i grzania pompy ciepła. W procesie wykorzystywany jest fakt, że w czasie przepływu powietrza wewnętrznego przez parownik temperatura ochładzanego strumienia spada poniżej punktu rosy, dzięki czemu para wodna się skrapla. Następnie w skraplaczu pompy ciepła powietrze jest podgrzewane i tak przygotowane może być skierowane do pomieszczenia. Po tego typu obróbce ma ono znacznie mniejszą wilgotność niż strumień pierwotny. W wyniku zmieszania się osuszonego, ciepłego strumienia z powietrzem wewnętrznym w pomieszczeniu obniża się wartość wilgotności względnej. Rysunek 1. przedstawia układ klimatyzacji hali basenowej wykorzystującej dodatkowo klimatyzator autonomiczny (osuszacz powietrza) z wbudowanym elementem pompy ciepła (chłodnica powierzchniowa) [1]. Schemat konstrukcyjny takiego osuszacza obrazuje rys. 2. [1].

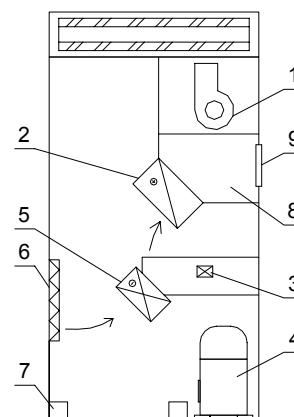


Rys. 1. Schemat klimatyzacji hali basenowej z klimatyzatorem (osuszaczem) autonomicznym: 1 – centrala nawiewna, 2 – osuszacz autonomiczny, 3 – centrala wywiewna

Opracowano na podstawie pracy [1].

Rys. 2. Schemat indywidualnego klimatyzatora (osuszacza) powietrza: 1 – wentylator, 2 – skraplacz (nagrzewnica powietrza), 3 – wentylator osiowy, 4 – sprężarka, 5 – parownik (chłodnica powietrza), 6 – filtr powietrza, 7 – taca ściekowa na skropliny, 8 – komora mieszania powietrza wewnętrznego i uzdatnionego, 9 – przepustnica powietrza wewnętrznego

Opracowano na podstawie pracy [1].

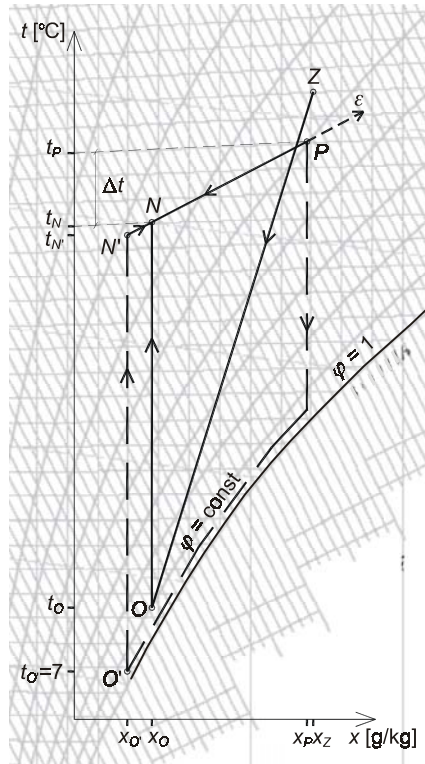


Zasada działania osuszacza (rys. 2.) opiera się na pobieraniu wilgotnego powietrza z pomieszczenia hali basenowej, które jest doprowadzane na chłodnicę powierzchniową 5 (parownik), gdzie jest ochładzane i osuszane. W kolejnym etapie powietrze przepływa przez nagrzewnicę 2 (skraplacz), w której na skutek kondensacji gorących par czynnika chłodniczego jest ogrzewane. Jeżeli uzyskana w ten sposób temperatura jest mniejsza niż wymagana temperatura nawiewu, powietrze jest mieszane ze strumieniem wewnętrznym (doprowadzonym poprzez przepustnicę 9) w komorze mieszania osuszacza 8 i nawiewane do pomieszczenia przez wentylator 1.

Zastosowanie wewnątrz pomieszczenia klimatyzatora autonomicznego pozwala ograniczyć do niezbędnego minimum ilość doprowadzanego powietrza zewnętrznego. Ponadto urządzenie jest w stanie dostarczyć część energii cieplnej potrzebnej na pokrycie strat ciepła w pomieszczeniu w okresie chłodnym. Wadą takiego rozwiązania jest natomiast osuszanie miejscowe w otoczeniu samego urządzenia [1]. Dobór danego typu osuszacza musi być poprzedzony szczegółową analizą warunków i przemian powietrza wewnętrznego. W tym celu należy skorzystać z wykresu $i-x$ opisującego zmianę entropii powietrza (i) w zależności od zawartości wilgoci (x). Umożliwia on projektowanie zakresów działania klimatyzatora i obliczanie związanych z procesami uzdatniania powietrza wielkości, takich jak: temperatura, zawartość wilgoci, wilgotność względna, entalpia. Dobór osuszacza rozpoczyna się od naniesienia na wspomniany wykres (rys. 3.), parametrów powietrza zewnętrznego w punkcie Z oraz wewnętrznego w punkcie P . Następnie przez punkt P prowadzi się prostą kierunkową przemianę ε , wyznaczoną z zależności:

$$\varepsilon = \frac{Q_c}{W} \text{ [kJ/kg]} \quad (1)$$

gdzie: Q_c – zyski ciepła całkowitego wewnątrz hali basenowej [kW],
 W – zyski wilgoci w okresie letnim [kg/s].



Rys. 3. Schematyczny przebieg procesów uzdatniania powietrza realizowany przez system klimatyzacyjny z osuszaniem powietrza wewnętrznego za pomocą chłodnicy powierzchniowej

Kolejnym krokiem jest wyznaczenie temperatury powietrza doprowadzane- go na halę basenową w punkcie N , przy przyjęciu wartości różnic temperatur pomiędzy powietrzem wewnętrznym a strumieniem nawiewanym Δt z punktu widzenia higieny. Minimalna objętość powietrza zewnętrznego (wg normy sanitarnej) o parametrach punktu Z jest kierowana na chłodnicę powierzchniową centrali klimatyzacyjnej, gdzie ma miejsce jego osuszanie i ochładzanie. W celu przedstawienia tego procesu na wykresie $i-x$ należy z punktu N poprowadzić pionową prostą, aż do przecięcia się jej z krzywą wilgotności względnej $\varphi = 0,90 \div 0,95\%$. W ten sposób zostanie wyznaczony punkt O . Łącząc punkt Z z punktem O , otrzymuje się odcinek $Z-O$ obrazujący przemianę powietrza (osuszanie oraz ochładzanie) na chłodnicy powierzchniowej centrali klimatyzacyjnej.

Klimatyzator autonomiczny realizujący proces osuszania powietrza wewnętrznego pobiera natomiast do uzdatniania powietrze o parametrach punktu P . Kieruje się ono na chłodnicę powierzchniową (parownik), gdzie jest ochładzane i osuszane. Konstruując ten proces na wykresie $i-x$, należy z punktu P poprowadzić pionową prostą, aż do przecięcia się jej z krzywą wilgotności względnej $\varphi = 0,90 \div 0,95\%$, a następnie po krzywej do przecięcia z izotermą ok. $7 \div 10^\circ\text{C}$ (minimalna dopuszczalna temperatura powierzchni chłodnicy). W ten sposób

zostanie wyznaczony punkt O' – stan powietrza po przejściu przez chłodnicę powierzchniową. Ciepło odebrane powietrzu na parowniku osuszacza (chłodnicy) zostanie mu z powrotem przekazane w skraplaczu (nagrzewnicy). W wyniku tego strumień zostanie ogrzany od punktu O' do osiągnięcia na przykład właściwości punktu N' , który na wykresie $i-x$ można wyznaczyć na przecięciu prostej kierunkowej przemiany ε oraz linii stałej zawartości wilgoci powietrza o parametrach punktu O' ($x_{O'} = \text{const.}$). W przypadku gdy temperatura $t_{N'} < t_N$ (rys. 3.), strumień jest dodatkowo mieszany w komorze mieszania 8 osuszacza (rys. 2.) z powietrzem wewnętrznym hali basenowej (parametry punktu P) w takim stosunku, aby uzyskać wymagane parametry opisane przez punkt N . Wydajność osuszacza można wyznaczyć według następującego wzoru:

$$V_{os} = \frac{W_o}{\rho \cdot (x_{PL,Z} - x_{N'})} [\text{m}^3/\text{h}] \quad (2)$$

gdzie: W_o – zyski wilgoci usuwane przez osuszacz [kg/h],
 $x_{PL,Z}$ – zawartość wilgoci w powietrzu wewnętrznym [kg/kg],
 $x_{N'}$ – zawartość wilgoci w powietrzu w punkcie N' [kg/kg],
 ρ – gęstość powietrza [kg/m³].

Natomiast wymaganą moc chłodnicy osuszacza można określić z następującej zależności:

$$Q_{chl} = V_{os} \cdot \rho \cdot (i_{PL,Z} - i_{O'}) [\text{kW}] \quad (3)$$

gdzie: V_{os} – wydajność powietrza przepływającego przez osuszacz [m³/s],
 ρ – gęstość powietrza [kg/m³],
 $i_{PL,Z}$ – entalpia powietrza wewnętrznego [kJ/kg],
 $i_{O'}$ – entalpia powietrza w punkcie O' [kJ/kg].

Temperatura powietrza przepływającego przez chłodnicę powierzchniową osuszacza, mieszcząca się w granicach $t_{O'\text{min}} = 7 \div 10^\circ\text{C}$, jest minimalną możliwą do osiągnięcia temperaturą na tego typu urządzeniu. Dalsze opracowanie procesu uzdatniania powietrza w systemie klimatyzacji hal basenowych należy przeprowadzać z uwzględnieniem technicznych charakterystyk osuszaczy autonomicznych.

3. Przykład obliczeniowy

Do obliczeń procesu osuszania powietrza dla hali basenowej w okresie letnim przyjęto następujące dane:

- Parametry powietrza wewnętrznego [2]:
 - temperatura – $t_P = 28^\circ\text{C}$,
 - wilgotność – $\varphi_P = 60\%$,
 - zawartość wilgoci – $x_P = 14,2 \text{ g/kg}$.

- Parametry powietrza zewnętrznego [3]:
 - temperatura zewnętrzna – $t_{ZL} = 30^{\circ}\text{C}$,
 - zawartość wilgoci – $x_{ZL} = 11,9 \text{ g/kg}$,
 - wilgotność względna – $\varphi_{ZL} = 45\%$.
- Zyski ciepła całkowitego w hali basenowej: $Q_c = 17,63 \text{ kW}$.
- Całkowite zyski wilgoci: $W = 20,31 \text{ kg/h}$.
- Współczynnik kierunkowy przemiany powietrza: $\varepsilon = 3126,73 \text{ kJ/kg}$.
- Ilość wilgoci, którą należy usunąć z pomieszczenia za pomocą osuszaczy (autonomicznych): $W_p = 16,41 \text{ kg/h}$.

Mając obliczone zyski wilgoci, jakie potrzeba usunąć z pomieszczenia hali basenowej, z katalogu firmy DANTHERM dobrano osuszacz basenowy typu CDP 65 o charakterystycznych parametrach pracy [3]:

- wydajność wilgotnościowa: $1,6 \text{ kg/h}$,
- zakres wilgotności: $40\div 100\%$,
- zakres temperatury: $10\div 36^{\circ}\text{C}$,
- przepływ powietrza: $750 \text{ m}^3/\text{h}$,
- maksymalne zużycie prądu: $1,65 \text{ kW}$,
- ilość czynnika chłodniczego: $1,6 \text{ kg}$.

Ponieważ w pomieszczeniu znajduje się zbyt duża zawartość wilgoci, zadaniem osuszacza jest sprowadzenie parametrów powietrza wilgotnego do wymaganego poziomu wilgotności. W tym celu zastosowano 10 klimatyzatorów autonomicznych. Osuszacze CDP 65 są specjalnie zaprojektowane do użytku w halach basenowych. Idealnie odprowadzają wilgoć z powietrza, uniemożliwiając jej osiadanie na ścianach i szybach okien w pomieszczeniu. Osuszacz działa zgodnie z zasadą kondensacji. Powietrze wciągane jest do środka przez wentylator, następnie schładzane przez chłodnicę, a kiedy temperatura spada poniżej punktu rosy, para wodna z powietrza się skrapla i jest odprowadzana na zewnątrz. Osuszone powietrze jest przeprowadzane przez skraplacz i następnie wydmuchiwane do pomieszczenia. Strumień przepływu osuszacza wynosi $V_{os} = 750 \text{ m}^3/\text{h}$, natomiast całkowity strumień przepływu dobranych osuszaczy $7500 \text{ m}^3/\text{h}$.

Mając obliczony strumień przepływu powietrza przez zastosowane osuszacze w hali basenowej oraz zyski wilgoci, które potrzeba usunąć z wnętrza pomieszczenia, można obliczyć zawartość wilgoci powietrza po osuszaczu x_O . Oblicza się ją z następującej zależności:

$$W = V_{os} \times \rho \times (x_p - x_O) \text{ [g/h]} \quad (4)$$

gdzie: V_{os} – wydajność powietrza przepływającego przez osuszacz [m^3/h],

ρ – gęstość powietrza [kg/m^3],

x_p – zawartość wilgoci dla powietrza wewnętrznego [g/kg].

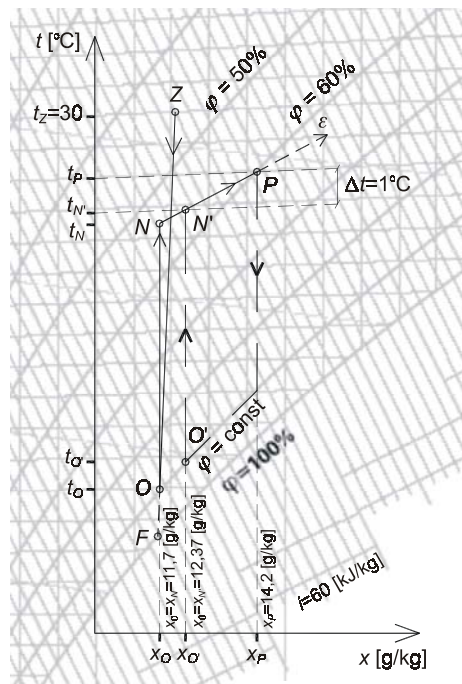
Po podstawieniu do równania (4) parametrów obliczeniowych zależność ta przyjmuje następującą postać:

$$16,41 [\text{kg/h}] = 7500 [\text{m}^3/\text{h}] \times 1,2 [\text{kg/m}^3] \times (14,2 [\text{kg/kg}] - x_{O'}) \cdot 10^{-3},$$

$$0,548 \times (14,2 - x_{O'}) = 1,$$

$$x_{O'} = 14,2 - 1,825 = 12,375 \text{ g/kg}.$$

Obliczona wartość $x_{O'}$ jest zawartością wilgoci w punkcie O' ($\varphi_{O'} = 0,9 \div 0,95\%$). W ten sposób otrzymuje się na wykresie i - x punkt O' . Na przecięciu się prostej kierunkowej ε oraz stałej linii zawartości wilgoci $x_{O'} = \text{const}$. zaznacza się punkt N' – stan powietrza nawiewanego do komory mieszania osuszacza. W wyniku połączenia punktów O' i N' otrzymuje się proces $O'-N'$ – ogrzewanie powietrza w skraplaczu. Dla omawianych procesów zachodzi przypadek, w którym temperatura $t_{N'} > t_N$ (rys. 4.). Oznacza to, że powietrze opuszczające skraplacz może być skierowane bezpośrednio do pomieszczenia, bez konieczności łączenia strumieni uzdatnionego i wewnętrznego w komorze mieszania. Punkt N' jest zatem punktem obejmującym stan powietrza nawiewanego do hali basenowej po przejściu przez osuszacz. Proces uzdatniania powietrza w hali basenowej za pomocą systemu klimatyzacji z osuszaczami autonomicznymi przedstawia rys. 4.



Rys. 4. Proces uzdatniania powietrza realizowany przez system klimatyzacyjny z osuszaniem powietrza wewnętrznego za pomocą osuszacza autonomicznego

4. Systemy klimatyzacji z osuszaczami autonomicznymi wyposażonymi w dwa skraplacze

Opisana wcześniej możliwość zastosowania autonomicznych osuszaczy powietrza w pływalniach, oprócz zapewnienia prawidłowego przebiegu procesów uzdatniania powietrza, stanowi niezwykle efektywne, zwłaszcza z energetycznego punktu widzenia, rozwiązanie. Dzieje się tak za sprawą wykorzystania specyfiki procesów uzdatniania (obniżenie zawartości wilgoci) i przeprowadzania ich przy zastosowaniu pompy ciepła, dzięki której możliwe jest wykorzystanie potencjału energetycznego powietrza wilgotnego. Pozwala na to przede wszystkim jej konstrukcja i zasada działania. W cyklu pracy pompy ciepła można wyróżnić następujące procesy (rys. 5.):

- 5-1 – odparowanie czynnika chłodniczego w parowniku przy stałym ciśnieniu i temperaturze, w wyniku pobrania ciepła od tzw. niskotemperaturowego źródła dolnego (w omawianym przypadku jest nim osuszane powietrze),
- 1-1' – przegrzanie pary nasyconej w parowniku i przewodzie łączącym parownik ze sprężarką, potrzebne do bezpiecznej pracy sprężarki,
- 1'-2 – sprężanie pary czynnika chłodniczego, w którym zachodzi wzrost temperatury i ciśnienia czynnika,
- 2-4 – oddawanie przez czynnik chłodniczy ciepła przegrzania i kondensacji w skraplaczu, początkowo przebiegające przy stałym ciśnieniu i spadającej temperaturze (2-3), a następnie przechodzące w proces izobaryczny i izotermiczny (3-4),
- 4-4' – izobaryczny proces przechłodzenia czynnika w przewodzie między skraplaczem a zaworem rozprężnym,
- 4'-5 – izentalpowe dławienie czynnika chłodniczego.

Widoczny na rys. 5. proces 5-1' (odparowanie czynnika chłodniczego) przebiega w parowaczu osuszacza autonomicznego dzięki ochładzaniu i osuszaniu powietrza pobieranego z hali basenu (proces $P-O'$, rys. 3.). Natomiast proces 2-4' (oddawanie ciepła przez czynnik chłodniczy) ma miejsce w skraplaczu osuszacza i przyczynia się do podgrzewania uprzednio ochłodzonego strumienia (proces $O'-N'$, rys. 3.). Jak już wspomniano, zastosowanie osuszaczy autonomicznych w omawianych obiektach skutkuje nie tylko prawidłowym uzdatnieniem powietrza, ale także przynosi bardzo dobre efekty energetyczne. Przyczynia się do tego wartość temperatury powietrza wewnętrznego w halach basenowych, oscylująca zazwyczaj w granicach $t_p = 27 \div 30^\circ\text{C}$, która jest zarazem temperaturą dolnego źródła ciepła dla pompy. Wówczas nawet przy założeniu, że temperatura źródła górnego $t_{N'}$ może być wyższa niż temperatura w pomieszczeniu t_p (co jest konsekwencją ustalenia się kierunku przemian powietrza zachodzących w pomieszczeniu, który określa wartość współczynnika ε), można stwierdzić, że współczynnik $\varepsilon_{p.c.}$, charakteryzujący efektywność pracy pompy ciepła, ma wyso-

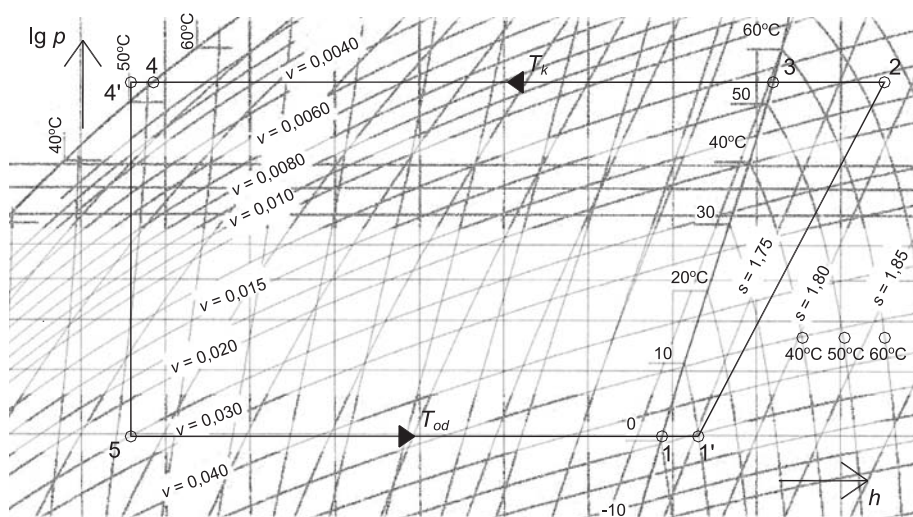
ką wartość. Wyraża on stosunek uzyskanej energii cieplnej do energii pobranej przez sprężarkę w procesie sprężania i jest przedstawiony wzorem:

$$\varepsilon_{p.c.} = \frac{h_2 - h_{4'}}{h_2 - h_{1'}} \quad (5)$$

gdzie: h_2 – entalpia czynnika chłodniczego po zakończeniu procesu sprężania [kJ/kg],

$h_{4'}$ – entalpia czynnika chłodniczego po opuszczeniu skraplacza [kJ/kg],

$h_{1'}$ – entalpia czynnika chłodniczego trafiającego do sprężarki [kJ/kg].



Rys. 5. Przykład przebiegu obiegów sprężarkowych pomp ciepła z wykorzystaniem czynnika chłodniczego R134a w zakresie wysokich temperatur skraplania (1-1'-2-3-4-4'-5-1): T_k – temperatura górnego źródła ciepła (skraplania czynnika chłodniczego), T_{od} – temperatura dolnego źródła ciepła (odparowania czynnika chłodniczego)

Podczas ogrzewania powietrza (proces $O'-N'$, rys. 3.) w skraplaczu całkowita jednostkowa energia cieplna zawarta w czynniku chłodniczym ($q_{2-4'}$) jest sumą jednostkowego ciepła skraplania $q_{3-4'}$ oraz przegrzania q_{2-3} (rys. 5.). Temperatura wartość tego ostatniego może zawierać się w granicach $50 \div 80^\circ\text{C}$ ($T_k = T_3 = 50^\circ\text{C}$, $T_2 = 80^\circ\text{C}$, rys. 5.). Biorąc pod uwagę najbardziej niekorzystną sytuację, w której ogrzewanie strumienia odbywałoby się od wartości $t_{O'\min} = 7^\circ\text{C}$ (minimalna temperatura powietrza po opuszczeniu chłodnicy powierzchniowej) do temperatury $t_{N'} > t_P$ (przy stratach ciepła w pomieszczeniu temperatura strumienia nawiewanego jest większa od temperatury powietrza wewnętrznego), należy zauważyć, że po pierwsze całkowita ilość ciepła uzyskiwana w skraplaczu ($q_{2-4'}$) może przewyższać potrzeby procesu nagrzewania powietrza $O'-N'$ (rys. 3.), po

drugie natomiast różnice temperatur $T_2 - t_{N'}$ oraz $T_k - t_{O'\min}$ dają podstawy do stwierdzenia, iż podczas wymiany ciepła między powietrzem a czynnikiem w skraplaczu będzie miał miejsce znaczny przyrost entropii, który wpływa na spadek efektywności energetycznej pracy całego układu. Jest on wyrażony wzorem:

$$ds = \frac{dq}{T} \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \right] \quad (6)$$

gdzie: dq – całkowita ilość przekazywanego ciepła [kJ/kg],
 T – temperatura [K].

O ile drugie ze stwierdzeń jest zrozumiałe i wynika z II zasady termodynamiki, o tyle pierwsze wymaga przeprowadzenia obliczeń. Będą one miały na celu określenie, jakiego zapotrzebowania energii na potrzeby przeprowadzenia procesu ogrzewania powietrza można się spodziewać w zależności od wielkości współczynnika ε i wartości W , czyli wilgoci koniecznej do usunięcia z hali basenowej. Analiza wyników pozwoli ocenić, czy podczas uzdatniania powietrza w osuszaczach autonomicznych występuje nadwyżka energii, a jeżeli tak, to czy możliwe jest instalowanie drugiego skraplacza, w którym osobno odbierane byłoby od czynnika ciepło przegrzania (q_{2-3}). Obliczenia zostały przeprowadzone dla parametrów powietrza wewnętrznego (charakteryzowanych przez punkt P) i zewnętrznego (charakteryzowanych przez punkt Z), użytych we wcześniejszym przykładzie obliczeniowym. Rozpatrzono dwie sytuacje dotyczące współczynnika kierunkowego przemian w pomieszczeniu ε . W pierwszym przypadku ma się do czynienia z zyskami ciepła (sytuację tę może reprezentować np. okres letni od maja do sierpnia, rys. 6a), w drugim natomiast występują straty ciepła (sytuacja taka może mieć miejsce w miesiącach ciepłych, takich jak np. kwiecień czy wrzesień, kiedy to instalacja CO nie jest włączona, a wieczorem temperatura powietrza zewnętrznego t_Z spada poniżej wartości t_P , lub kiedy na pływalni przebywa liczba osób mniejsza od obliczeniowej, rys. 6b).

Przebieg procesów na zamieszczonych wykresach (rys. 6.) jest taki sam jak na rys. 3. Do obydwu wariantów wprowadzono dodatkowo punkty O'' i N'' , które pokazują, jak przebiega uzdatnianie powietrza, w przypadku gdy zawartość wilgoci w powietrzu opuszczającym parowacz osuszacza ($x_{O'}$) jest większa niż zawartość wilgoci strumienia zewnętrznego (x_O), opuszczającego chłodnicę powierzchniową. W takiej sytuacji przepustnica osuszacza autonomicznego może być zamknięta, a powietrze uzdatnione nie musi być w komorze mieszania łączone z powietrzem wewnętrznym, lecz bezpośrednio po podgrzaniu do temperatury $t_{N''}$ kierowane do pomieszczenia. Jak widać z przebiegu procesów, wariant uzdatniania jest ściśle uzależniony od całkowitych zysków ciepła w pomieszczeniu Q_c oraz zysków wilgoci W . Ich stosunek określa bowiem kierunek przemian powietrza w pomieszczeniu (ε), a sama wartość W (ilość wilgoci konieczna

do usunięcia) wyznacza położenie punktu zakończenia procesu na chłodnicy powierzchniowej (parowaczu), który przyjmuje położenie analogiczne do punktów O' bądź O'' (rys. 6.). Współczynniki ε wynoszą kolejno: $\varepsilon = 3100$ kJ/kg (rys. 6a) i $\varepsilon = 2000$ kJ/kg (rys. 6b). W celu określenia ilości energii uzyskiwanej w procesach uzdatniania powietrza $P-O'-N'$ oraz $P-O''-N''$ w klimatyzatorze autonomicznym, rozpatrzono cztery warianty obiegów przedstawione na rys. 6. Ilość ciepła oddawaną przez osuszane i ochładzane powietrze w parowaczu można obliczyć z następującego wzoru:

$$Q_{par} = V \cdot \rho \cdot (i_P - i_{O'}) \text{ [kW]} \quad (7)$$

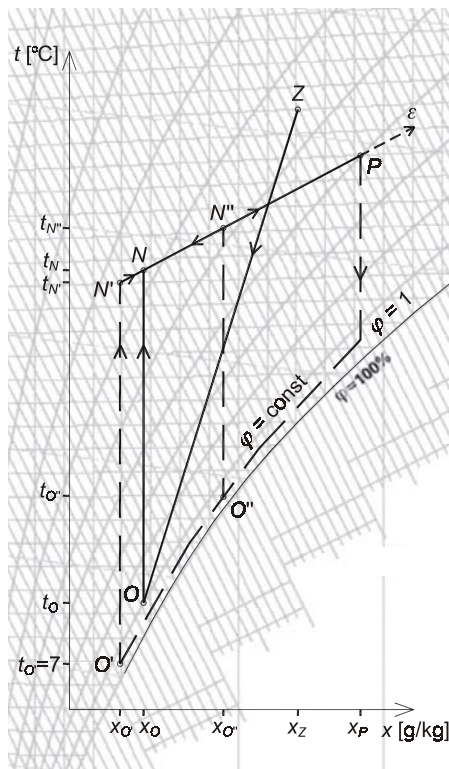
gdzie: V – wielkość strumienia powietrza uzdatnianego [m^3/s],

ρ – gęstość powietrza [kg/m^3],

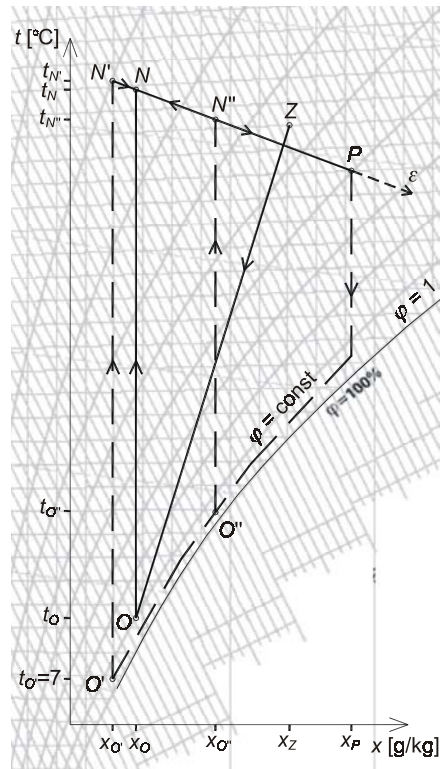
i_P – entalpia powietrza w pływalni [kJ/kg],

$i_{O'}$ – entalpia powietrza opuszczającego parowacz [kJ/kg].

a)



b)



Rys. 6. Schematyczny przebieg procesów uzdatniania powietrza dla hal basenowych w osuszaczach autonomicznych: a) podczas zysków ciepła w pomieszczeniu, b) podczas strat ciepła w pomieszczeniu

Ilość ciepła, która jest potrzebna do ogrzania powietrza w skraplaczu, określa się ze wzoru:

$$Q_{skr} = V \cdot \rho \cdot c_p \cdot (t_{N'} - t_{O'}) \text{ [kW]} \quad (8)$$

gdzie: c_p – ciepło właściwe powietrza [kJ/kgK],

$t_{N'}$ – temperatura powietrza opuszczającego osuszacz [kJ/kg],

$t_{O'}$ – temperatura powietrza trafiającego do skraplacza [kJ/kg],

pozostałe oznaczenia jak we wzorze (7).

Parametry poszczególnych punktów uwzględnianych w obliczeniach są następujące:

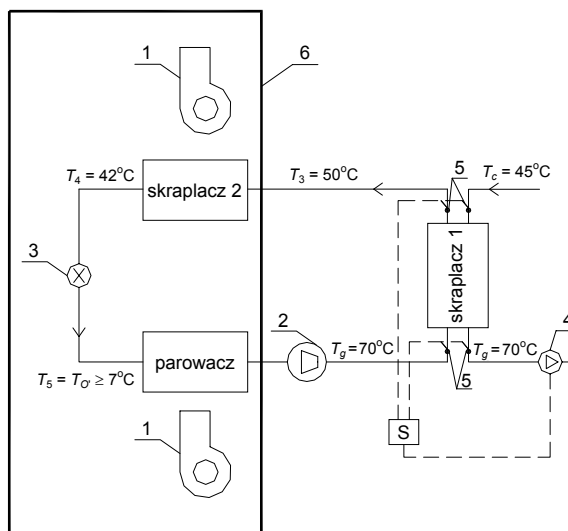
- $t_P = 28^\circ\text{C}$ – temperatura powietrza wewnątrz hali basenowej,
- $i_P = 64,5 \text{ kJ/kg}$ – entalpia powietrza wewnątrz hali basenowej,
- $t_{O'} = 7^\circ\text{C}$ – temperatura powietrza po opuszczeniu parowacza,
- $i_{O'} = 22 \text{ kJ/kg}$ – entalpia powietrza po opuszczeniu parowacza,
- $t_{O''} = 14^\circ\text{C}$ – temperatura powietrza po opuszczeniu parowacza (dla $x_{O'} > x_O$),
- $i_{O''} = 38 \text{ kJ/kg}$ – entalpia powietrza po opuszczeniu parowacza (dla $x_{O'} > x_O$),
- $t_{N'} = 23^\circ\text{C}$ – temperatura powietrza kierowanego do pomieszczenia (rys. 2a),
- $i_{N'} = 38 \text{ kJ/kg}$ – entalpia powietrza kierowanego do pomieszczenia (rys. 2a),
- $t_{N''} = 25^\circ\text{C}$ – temperatura powietrza kierowanego do pomieszczenia (rys. 2a),
- $i_{N''} = 49 \text{ kJ/kg}$ – entalpia powietrza kierowanego do pomieszczenia (rys. 2a),
- $t_{N'} = 32,2^\circ\text{C}$ – temperatura powietrza kierowanego do pomieszczenia (rys. 2b),
- $i_{N'} = 47 \text{ kJ/kg}$ – entalpia powietrza kierowanego do pomieszczenia (rys. 2b),
- $t_{N''} = 30,5^\circ\text{C}$ – temperatura powietrza kierowanego do pomieszczenia (rys. 2b),
- $i_{N''} = 55 \text{ kJ/kg}$ – entalpia powietrza kierowanego do pomieszczenia (rys. 2b),

Otrzymane wyniki obliczeń zestawiono w tab. 1. Z tabeli tej wynika, że ilość ciepła oddawana podczas procesu osuszania powietrza jest zawsze większa niż energia wykorzystywana w procesie ogrzewania strumienia w skraplaczu. Jest to wynik wydzielania się ciepła kondensacji pary wodnej w parowniku. Wartości ΔQ określające możliwy do wykorzystania nadmiar energii będą w rzeczywistości dodatkowo powiększone o energię pracy sprężarki osuszacza autonomicznego.

Tabela 1. Wartości nadwyżki energii powstałej w procesie uzdatniania powietrza wilgotnego za pomocą osuszaczy autonomicznych dla jednostkowej ilości strumienia ($V = 1 \text{ m}^3/\text{s}$)

Parametry	Zyski ciepła w pomieszczeniu (rys. 2a) $\varepsilon = 3100 \text{ kJ/kg}$		Straty ciepła w pomieszczeniu (rys. 2b) $\varepsilon = 2000 \text{ kJ/kg}$	
	$x_{O'} < x_O$	$x_{O'} > x_O$	$x_{O'} < x_O$	$x_{O'} > x_O$
Q_{par} [kW]	51	31,8	51	31,8
Q_{skr} [kW]	19,6	13,5	30,8	20,2
$\Delta Q = Q_{par} - Q_{skr}$ [kW]	31,4	18,3	20,2	11,6

Ciepło ΔQ może być oddawane w formie wysokotemperaturowej (q_{2-3}) o przykładowych parametrach 75/50°C, w dodatkowo wprowadzonym do układu skraplaczu, a następnie magazynowane w zbiorniku buforowym i wykorzystywane np. do przygotowania ciepłej wody użytkowej (CWU) lub innych celów technologicznych, takich jak chociażby podgrzew wody w basenie. Takie rozwiązanie zwiększa efektywność energetyczną pracy instalacji. Zakładając dodatkowo, że zbiornik buforowy będzie pośredniczył w wymianie ciepła między obiegiem wysokotemperaturowym o przykładowych parametrach 70/45°C a obiegiem przygotowania wody basenowej o parametrach 50/40°C (przy temperaturze wody w basenie na poziomie 25÷35°C), w porównaniu z układem niewyposażonym w drugi skraplacz zmniejszą się zmiany entropii wynikające z II zasady termodynamiki (równanie (6)). Stanie się tak, ponieważ różnica temperatur między nośnikami ciepła będzie wówczas mniejsza niż w przypadku układu z pojedynczym skraplaczem, w którym ogrzewane jest powietrze. Schemat omawianego układu (bez zbiornika buforowego i obiegu przygotowania wody basenowej) przedstawia rys. 7.



Rys. 7. Schemat osuszacza autonomicznego z wprowadzonym dodatkowym skraplaczem: 1 – wentylator, 2 – sprężarka, 3 – zawór rozprężny, 4 – pompa obiegowa, 5 – czujniki temperatury, 6 – osuszacz autonomiczny, S – sterownik automatyki

Ideą obiegu przedstawionego na rys. 7. jest wykorzystywanie nadmiaru energii uzyskiwanej w parowaczu w formie wysokotemperaturowej. Wiąże się to z koniecznością precyzyjnego kontrolowania procesu przekazywania ciepła przegrzania ($q_{2,3}$) wodzie w skraplaczu 1. Istotą regulacji jest uzyskanie na wyjściu ze skraplacza odpowiedniej temperatury czynnika chłodniczego T_3 , której wartość zapewni ilość ciepła ($q_{3,4}$) wymaganą do przeprowadzenia procesów podgrzewu powietrza w osuszaczu autonomicznym. Ciepło skraplania $q_{3,4}$ jest bowiem wykorzystywane do uzdatniania powietrza w pływalni. W związku z tym skraplacz 1 musi być zaprojektowany tak, aby strumień masy czynnika chłodniczego oraz powierzchnia wymiany ciepła zapewniały otrzymywanie w odpowiednich miejscach instalacji założonych odgórnie temperatur T_2 i T_3 (rys. 7.). Jego budowa musi być zatem ściśle dostosowana do jednego, określonego reżimu temperaturowego pracy układu. Do zapewnienia poprawności przebiegu procesów zachodzących w omawianym obiegu niezbędna jest również obecność w układzie widocznego na rys. 7. sterownika automatyki S. Wraz z czujnikami temperatury 5 stanowi on element kontrolujący wydajność pompy obiegowej 4. Dzięki temu ilościowy przepływ strumienia masy wody ochładzającej skraplacz 1 jest dostosowywany do zadanych wartości temperatur T_g i T_c . Wielkości wspomnianych strumieni masy (czynnika chłodniczego i wody) dla uzyskanych w obliczeniach wielkości ΔQ (tab. 1.) i przykładowych temperatur czynnika chłodniczego $T_2 = 75$ i $T_3 = 50^\circ\text{C}$ oraz wody $T_c = 45^\circ\text{C}$ i $T_g = 70^\circ\text{C}$ (rys. 7.) można określić z następującego wzoru:

$$m = \frac{\Delta Q}{c_p \cdot \Delta T} \text{ [kW]} \quad (9)$$

gdzie: ΔQ – wielkość nadmiaru ciepła uzyskiwana w procesie uzdatniania powietrza [kW],

ΔT – różnica temperatur czynnika (bądź wody) na wyjściu i wejściu skraplacza 1 [$^\circ\text{C}$],

c_p – ciepło właściwe czynnika chłodniczego (bądź wody) [kJ/kg·K].

Obliczone strumienie masy (dla czynnika chłodniczego R134a i wody) zestawiono w tab. 2.

Tabela 2. Wartość strumieni masy czynnika chłodniczego m_{R134a} i wody m_{wody} przepływających przez skraplacz 1 dla poszczególnych przypadków pracy osuszaczy autonomicznych (dla strumienia przepływającego powietrza równego $V = 1 \text{ m}^3/\text{s}$) wyposażonych w dwa skraplacze (rys. 7.)

$\Delta Q = Q_{\text{par}} - Q_{\text{skr}}$ [kW]	31,4	18,3	20,2	11,6
m_{R134a} [kg/s]	1,04	0,61	0,67	0,38
m_{wody} [kg/s]	0,30	0,18	0,19	0,11

5. Podsumowanie

Wykorzystywanie systemów klimatyzacji wyposażonych w osuszacze autonomiczne na halach basenowych jest rozwiązaniem efektywnym zarówno z punktu widzenia procesów uzdatniania powietrza, jak również możliwości energetycznych, które ze sobą niosą. Omawiane układy, utrzymując wilgotność na zadanym poziomie, nie dopuszczają do tworzenia się pleśni, grzybów oraz rozwoju bakterii w pomieszczeniach pływalni. Budowa osuszaczy autonomicznych, bazująca na konstrukcji pomp ciepła, pozwala jednocześnie na wykorzystywanie potencjału energetycznego powietrza wilgotnego, w którym znaczna ilość ciepła znajduje się pod postacią pary wodnej. Jak pokazują otrzymane w trakcie obliczeń wyniki, dzięki obecności skupionej w ten sposób energii, ilość ciepła wydzielona w procesie ochładzania i osuszania powietrza wewnętrznego może przewyższać potrzeby procesu ogrzewania tego strumienia. Uzyskana w ten sposób nadwyżka ciepła ΔQ może być wykorzystywana np. do pokrycia strat ciepła w pomieszczeniu w chłodnym okresie roku bądź podgrzewu wody basenowej. Praca systemu klimatyzacji w takim trybie wymaga wprowadzenia do układu osuszacza autonomicznego, zaprojektowanego odpowiednio do potrzeb i parametrów instalacji, drugiego skraplacza, w którym energia ΔQ będzie oddawana w postaci ciepła wysokotemperaturowego oraz systemu automatyki zapewniającego prawidłowy przebieg wymiany ciepła w całym obiegu.

Literatura

1. Jaskólski M., Micewicz Z., *Wentylacja i klimatyzacja hal krytych pływalni*. Masta, Gdańsk 2000
2. PN-78/B-03421: *Parametry obliczeniowe powietrza wewnętrznego w pomieszczeniach przeznaczonych do stałego przebywania ludzi*. Wydawnictwa Normalizacyjne, 1978
3. Katalog produktów firmy DANThERM, 2005

DESIGNING OF AIR TREATMENT PROCESSES IN AIR CONDITIONING SYSTEMS WITH INDEPENDENT AIR DRYERS WORKING IN INDOOR SWIMMING POOLS

Summary

The paper describes an operating principle of air conditioning systems that uses independent air dryers in air treatment processes, in indoor swimming pools. This paper contains the description of these processes and their course on the enthalpy moisture chart. The paper also brings up the subject of an idea to increase the energy efficiency and widen the functionality of air conditioning systems with independent air dryers working in mentioned facilities.

Złożono w Oficynie Wydawniczej we wrześniu 2007 r.

Alicja PUSZKAREWICZ
Politechnika Rzeszowska

ODDZIAŁYWANIE ZWIĄZKÓW CHROMU NA BIOTYCZNĄ CZĘŚĆ ŚRODOWISKA

Artykuł przedstawia krótką charakterystykę związków chromu powszechnie występujących w środowisku naturalnym. Opisuje przemiany biochemiczne chromu w zależności od formy jego występowania w poszczególnych częściach środowiska oraz jego fizjologiczne i toksyczne oddziaływanie na organizmy żywe. W artykule zamieszczono podstawowe normatywy odnoszące się do zawartości chromu w wodzie przeznaczonej do spożycia, wodach powierzchniowych oraz w ściekach odprowadzanych do odbiornika lub kanalizacji.

1. Wprowadzenie

Chrom występuje powszechnie na powierzchni Ziemi, chociaż stanowi tylko 0,012% całej powłoki ziemskiej. Chrom w postaci litej jest metalem srebrzystobiałym, twardym, o wysokiej temperaturze topnienia, dobrze przewodzi ciepło i elektryczność.

Chrom (łac. *chromium*), o symbolu chemicznym Cr, jest pierwiastkiem należącym do grupy przejściowej układu okresowego – VI A, o liczbie atomowej 24 i masie atomowej 51,996. Został odkryty w 1798 r. przez L.N. Vauquelina. Swoją nazwę, pochodzącą od greckiego *chroma* – barwa, zawdzięcza barwnym związkom, które tworzy na poszczególnych stopniach utleniania (od +1 do +6) [1].

Związki, w których chrom występuje na niższych stopniach utleniania, wykazują charakter amfoteryczny z przewagą właściwości zasadowych. Związki chromu na VI stopniu utleniania są dość mocno kwasowe, a w ich cząsteczkach występują wiązania kowalencyjne. Związki chromu (I) są nieliczne i nietrwałe, występują zwłaszcza w roztworach. Związki chromu (II) są trwalsze: jony Cr^{2+} w roztworach wodnych (o barwie niebieskiej) są bardzo silnymi reduktorami, łatwo reagują z tlenem, a w podwyższonej temperaturze lub w obecności innych metali rozkładają wodę z wydzieleniem wodoru. Jony chromu (III) tworzą wiele różnych oktaedrycznych kompleksów. W organizmach żywych chrom (III) spełnia przede wszystkim rolę biopierwiastka. Związki chromu (IV) i chromu (V) w roztworach wodnych są nietrwałe, ulegają dysproporcjonowaniu do związków

chromu (III) i (VI). Związki chromu (VI) są silnymi utleniaczami, co jest główną przyczyną ich toksyczności [2, 3].

Chrom metaliczny jest stosowany jako dodatek do stali zwiększający jej twardość i wytrzymałość, do produkcji stali nierdzewnej, do chromowania, tj. nakładania powłok ochronnych. Metal otrzymuje się metodą aluminotermiczną lub przez elektrolizę roztworów zawierających tlenek chromu (VI) [4].

2. Bioprzyswajalność chromu

Bioprzyswajalność jest to zdolność substancji chemicznych do pasywnej lub aktywnej penetracji organizmów żywych. Proces ten może następować na drodze przenikania przez błony komórkowe, a także wchłaniania poprzez układ oddechowy lub trawienny. Zdolność ta determinuje oddziaływanie poszczególnych substancji na organizmy, w tym możliwość wywołania efektów fizjologicznych lub toksycznych. Bioprzyswajalność danej substancji jest zależna od rodzaju związku chemicznego, stopnia utlenienia, rozpuszczalności i zdolności do tworzenia kompleksów organicznych [1].

Dwie najbardziej rozpowszechnione formy chromu: chrom (III) i chrom (VI), z uwagi na swoje właściwości – zdolność tworzenia kompleksów w przypadku chromu (III) oraz rozpuszczalność i reaktywność chromu (VI) – mogą przenikać do wnętrza organizmów żywych narażonych na ich oddziaływanie, wywołując zmiany w ich funkcjonowaniu. Większość form chromu (III) występujących w zanieczyszczonych wodach i glebach jest nierozpuszczalna i mobilna w nieznanym stopniu. Chrom ulega immobilizacji w postaci nierozpuszczalnego wodorotlenku i nie wykazuje szkodliwego oddziaływania [5].

Obecność powszechnie występujących w środowisku ligandów organicznych (np. kwasów huminowych lub fulwowych) powodujących kompleksację chromu (III) może zwiększyć jego rozpuszczalność, a zatem spowodować większą mobilność i dostępność dla organizmów żywych [6, 7].

Trwałość tych kompleksów zależy od odczynu i rodzaju związku organicznego. W miarę wzrostu kwasowości rozpuszczalność kompleksów wzrasta, nasila się dominacja Cr (III), a maleje Cr (VI) [8]. Ze względu na stosunkowo małą masę cząsteczkową i większą zawartość grup funkcyjnych kompleksy kwasów fulwowych są lepiej rozpuszczalne (łatwiej pobierane przez rośliny) niż kwasów huminowych [5].

Chrom (VI) jest uznawany za bardziej biodostępny z uwagi na swoją rozpuszczalność, silne właściwości utleniające oraz przenikalność przez błony komórkowe. Związki chromu (VI) powodują efekty toksyczne, mutagenne i kancerogenne dla poszczególnych organizmów [1].

3. Oddziaływanie chromu na organizmy żywe

Wpływ chromu na rośliny

Niezbędność chromu w procesach fizjologicznych roślin nie została do tej pory udowodniona. Zawartość chromu w poszczególnych roślinach waha się w granicach $0,02 \div 1,1$ $\mu\text{g/g}$ sm. W przypadku roślin rosnących na glebach użytkowanych osadem ściekowym o dużej zawartości chromu bądź glebach o wysokiej naturalnej zawartości tego pierwiastka, jak również na obszarach o wysokim stężeniu chromu w powietrzu atmosferycznym, zawartość ta może osiągać wartość 45 $\mu\text{g/g}$ sm. [1, 9].

Poprzez system korzeniowy rośliny pobierają chrom zarówno w postaci związków chromu (III), jak i chromu (VI). Pobór chromu (III) jest uznawany za pasywny – dyfuzja – podczas gdy pobór chromu (VI) za aktywny – penetracja błon komórkowych. Chrom (VI) w komórkach roślinnych ulega zredukowaniu do chromu (III). Podczas tego procesu mogą powstawać nietrwałe formy chromu (V) i chromu (IV), co sprzyja formowaniu wolnych rodników powodujących uszkodzenia błon komórkowych i zaburzenia w metabolizmie roślin. Zredukowane i bezpośrednio pobrane przez rośliny związki chromu (III) tworzą z występującymi w komórkach białkami i kwasami nukleinowymi trwałe kompleksy, mogące również powodować zmiany w rozwoju roślin. Objawy toksyczności chromu u roślin polegają głównie na zaburzeniach gospodarki wodą, uszkodzeniu stożków wzrostu oraz korzeni. W przypadku roślin bardzo wrażliwych (owies) chrom jest szkodliwy przy stężeniach większych niż 2 $\mu\text{g/g}$, a w przypadku roślin średnio odpornych – przy stężeniach większych od 20 $\mu\text{g/g}$ [1, 10].

Reakcja roślin na chrom zależy od jego stężenia oraz formy, w jakiej znajduje się w glebie. Akumulowany jest on głównie w korzeniach roślin, gdzie blokuje pobieranie innych składników, takich jak: Fe, Mg i Mn. Widocznym efektem dużej ilości chromu w roślinach jest chloroza i szybkie wędnięcie roślin. Rośliny bardzo wrażliwe na chrom wykazują te objawy już przy stężeniu 2 mg/kg [3].

Wpływ chromu na mikroorganizmy

Bioprzyzwajalność chromu przez mikroorganizmy nie jest dobrze udokumentowana. Poszczególne mikroorganizmy wykazują znaczne różnice w odporności na stężenie chromu w środowisku, a także zdolności do redukcji związków chromu (VI). Zakres stężeń chromu (VI) wywołujących efekty toksyczne w przypadku glonów waha się w granicach $20 \div 10000$ $\mu\text{g/l}$. Tak znaczne zróżnicowanie tych wartości jest związane nie tylko z odpornością poszczególnych gatunków, lecz również z czynnikami środowiskowymi, takimi jak: pH, zasolenie, występowanie związków siarki, oraz z obecnością ligandów organicznych [6].

W prowadzonych badaniach najczęściej obserwowanym efektem wywołanym obecnością chromu (VI) jest zahamowanie wzrostu glonów, jak również zmiany morfologiczne w komórkach oraz zmiany w ich składzie gatunkowym w badanych siedliskach [11].

Oddziaływanie chromu na bakterie najlepiej udokumentowane jest w przypadku bakterii glebowych. Najczęściej obserwowanym efektem oddziaływania chromu (VI) jest zahamowanie wzrostu komórek, które występuje przy stężeniu chromu (VI) 5000÷20000 µg/l. Efektem oddziaływania chromu jest również zahamowanie efektywności procesów zachodzących z udziałem bakterii, takich jak nityfikacja lub beztlenowa fermentacja, wykorzystywanych w procesach biologicznego oczyszczania ścieków zawierających związki chromu. Występujący w ściekach chrom (VI) powoduje głównie zmniejszenie liczebności bakterii i pierwotniaków w złożu biologicznym proporcjonalnie do stężenia, jak również zahamowanie aktywności enzymatycznej poszczególnych mikroorganizmów [1, 12].

Zarówno chrom (III), jak i chrom (VI) może być akumulowany w komórkach mikroorganizmów. Dotyczy to zarówno drożdży, różnych bakterii (*Arthobacter*, *Agrobacterium*), w których ilość zakumulowanego chromu może dochodzić do 0,4% sm., jak również i glonów. W procesie odżywiania się organizmów wyższego rzędu mikroorganizmami, chrom zostaje wprowadzony do łańcucha pokarmowego [11].

Wpływ chromu na organizmy zwierzęce

Zawartość chromu w tkankach zwierzęcych waha się w granicach 0,02÷2,00 µg/g sm. Wartości te mogą jednak ulegać zmianie w zależności od stopnia i czasu ekspozycji danego organizmu na zanieczyszczenie związkami chromu obecnymi w jego środowisku życia, a także od wieku, cech osobniczych, rodzaju tkanek. Niektóre z niższych gatunków mogą akumulować chrom w znacznie wyższych stężeniach [1].

Wysokie stężenie chromu w środowisku wodnym (922÷6120 µg/l w wodzie i 2438 µg/g sm.) prowadzi do całkowitej degradacji populacji makrobezkręgowców bentosowych lub zmian w ich strukturze, polegających na zmniejszeniu różnorodności i liczebności poszczególnych gatunków. W organizmach tych odnotowuje się również zmiany fizjologiczne. Na skutek akumulacji związków chromu dochodzi do uszkodzenia skrzel i zmiany w brodawkach układu wydalniczego tych organizmów. Akumulacja chromu pochodzącego ze ścieków pochodzenia pogarbarskiego następuje również w organizmach małży morskich. Najwyższe stężenia chromu, 400÷1000 µg/g sm., zaobserwowano w skrzelach i gruczołach trawiennych tych organizmów [12].

W organizmach ryb chrom ulega nieznacznej akumulacji. Następuje ona głównie w skrzelach, powodując ich uszkodzenia, i wpływając tym samym ujemnie na proces oddychania. Wyjątek stanowią gatunki ryb żerujące w strefie

przydennej, w której osad denny jest zanieczyszczony związkami chromu. W ich organizmach stopień akumulacji chromu może być znacznie wyższy ze względu na przenikanie chromu przez skrzelą, jak również odżywianie się glonami i makrobezkręgowcami bytującymi w zanieczyszczonym osadzie dennym [3].

Wpływ chromu na człowieka

Związki chromu są niezbędne do normalnego funkcjonowania organizmu. Ich rola jest udokumentowana w metabolizmie lipidów, cholesterolu, a przede wszystkim cukrów. W organizmie człowieka chrom jest rozmieszczony dosyć równomiernie w poszczególnych tkankach. Największą jego ilość odnotowuje się we włosach, skórze i zębach: ok. $0,2 \div 2,0 \mu\text{g/g sm.}$, natomiast w tkankach miękkich zawartość ta wynosi $0,02 \div 1,00 \mu\text{g/g sm.}$ W niektórych przypadkach stwierdzono podwyższoną jego zawartość w mózgu, rdzeniu pacierzowym i nerkach. Zawartość chromu w organizmie człowieka maleje na ogół wraz z wiekiem, z różną intensywnością w zależności od narządu. Największy spadek notuje się w wątrobie, podczas gdy w płucach zaznacza się wzrost jego stężenia wraz z wiekiem. Obniżenie zawartości chromu w tkankach układu krążenia powoduje przypuszczalnie wzrost cholesterolu u osób starszych [1].

Dzienne zapotrzebowanie na chrom konieczne do normalnego rozwoju człowieka szacuje się na około $13 \div 56 \mu\text{g}$. Wydalanie tego pierwiastka następuje wraz z moczem i wynosi około $10 \mu\text{g/d}$. Prawidłowy poziom chromu we krwi powinien kształtować się na poziomie $20 \div 30 \mu\text{g/l}$ [14]. Niedobór chromu (III), uznawanego za aktywny składnik tzw. czynnika tolerancji glukozy, osłabia działanie insuliny. Nadmierne ilości tego jonu mogą się natomiast kumulować w organizmie w postaci kompleksów z kwasami nukleinowymi. Kompleksy te mogą przejawiać właściwości mutagenne [9].

Chrom (VI) należy do związków o udowodnionej kancerogenności. Chrom i jego związki wchłaniane przez układ oddechowy są bardziej toksyczne niż pobierane drogą pokarmową. Zatrucie chromem objawia się zaburzeniami układu krążenia oraz układu oddechowego, a ponadto chorobami skóry i alergią. Wchłaniany poprzez układ pokarmowy chrom (VI) w środowisku kwaśnym żołądka ulega również redukcji do chromu (III), a następnie akumulacji w wątrobie. Przenikając przez błony komórkowe, podlega redukcji bezpośrednio w komórkach na skutek oddziaływania kwasu askorbinowego, glutationu, cysteiny. Powstające podczas redukcji formy chromu na pośrednich stopniach utlenienia oddziałują z DNA, powodując jego destrukcję [3].

Człowiek i organizmy zwierzęce pobierają chrom przede wszystkim z pożywieniem i wodą, ale i z powietrza atmosferycznego. W warunkach pracy szkodliwej dla zdrowia (na przykład podczas procesu chromowania elektrolitycznego) związki chromu powodują zatrucia przewlekłe, co w konsekwencji prowadzi do powstania nowotworów górnych dróg oddechowych. Związki chromu (III) i chromu (VI) łatwo przenikają również przez skórę [6, 7].

4. Podsumowanie

Chrom jest jednym z metali ciężkich, których stężenie w środowisku systematycznie wzrasta, ze względu na postępujący rozwój przemysłu, przede wszystkim metalurgicznego i chemicznego. Co prawda nie ma ryzyka globalnego skażenia środowiska przyrodniczego związkami chromu, jednak lokalne wprowadzenie go do atmosfery, wód i gleb może spowodować nadmierne jego włączenie do biogeochemicznego obiegu [4, 10, 11].

Zasadnicze znaczenie dla środowiska naturalnego mają normatywy odnoszące się do zawartości chromu w wodzie przeznaczony do spożycia, wodach powierzchniowych oraz w ściekach odprowadzanych do odbiornika lub kanalizacji.

W polskich przepisach prawnych dopuszczalna ilość chromu w wodach powierzchniowych wykorzystywanych do zaopatrzenia ludności jest uzależniona od formy występowania tego pierwiastka i wynosi 0,05 mg/l dla chromu ogólnego i 0,02 mg/l dla Cr(VI) [13].

Ocena stanu zanieczyszczenia wód powierzchniowych (płynących i stojących) metalami ciężkimi, w tym także chromem, jest realizowana w ramach programu monitoringu wód powierzchniowych. Program ten obejmuje system pomiarów, analiz i ocen jakości tych wód. Pomiary, pobór próbek i ich analiza laboratoryjna wykonywane są w ramach działalności podstawowej przez Wojewódzkie Inspektoraty Środowiska, natomiast wielkość przepływów oceniana jest przez Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej. Monitoring rzek jest prowadzony w ramach sieci krajowej i regionalnej.

Zgodnie z wytycznymi Światowej Organizacji Zdrowia (WHO) stężenie chromu w wodzie przeznaczony do picia nie może przekraczać 50 µg/l. Wartość ta została zaakceptowana przez państwa wchodzące w skład Unii Europejskiej jako odnosząca się do zawartości chromu ogólnego [14÷16].

Obecnie w polskich przepisach prawnych dotyczących warunków, jakim powinna odpowiadać woda do spożycia, dopuszczalna zawartość chromu ogólnego wynosi 50 µg/dm³ i parametr ten jest objęty monitoringiem przeglądownym [10].

Dopuszczalne wartości związków chromu w ściekach (zróżnicowane ze względu na jego formę i gałąź przemysłu, ale nie większe niż 0,5 mg/dm³) powinny być zgodne z wytycznymi zawartymi w Rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 24 lipca 2006 r. (Dz.U. Nr 137, poz. 984) w sprawie warunków, jakie należy spełnić przy wprowadzaniu ścieków do wód lub do ziemi oraz w sprawie substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska wodnego.

Właściwe oczyszczanie ścieków poprodukcyjnych w dużej mierze ogranicza emisję chromu do środowiska. Znajomość przebiegu procesów produkcyjnych, w powiązaniu z analizą stosowanych substratów, wytwarzanych produktów, odpadów stałych i ścieków, powinna się również przyczynić do stworzenia sieci odzysku i recyklingu chromu [12, 17].

Literatura

1. Kabata-Pendias A., Pendias H., *Biogeochemia pierwiastków śladowych*. PWN, Warszawa 1999
2. Chmielnicka J., *Metale i metaloidy*. PWN, Warszawa 1994
3. Wolak W., *Metale ciężkie w środowisku i ich analiza*. Biblioteka Monitoringu Środowiska, Chełm 1995
4. Kowalski Z., *Niskoodpadowe technologie*. Wydawnictwo Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1990
5. Dziadowiec H., *Ekologiczna rola próchnicy glebowej*. Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych, z. 411, Wydział Nauk Rolniczych, Leśnych i Weterynaryjnych PAN, 1993
6. Gałus A., *Ekotoksykologia chromu*. Chemia i Inżynieria Ekologiczna, 8-9, 1998
7. Gałuszka G., Cieślak-Golonka M., *Wokół problemu biologicznej niezbędności chromu*. Wiadomości Chemiczne, t. 53, Wrocław 1999
8. Jackowska J., *Uruchamianie jonów metali ciężkich w materiale lessowym pod wpływem wodnych roztworów HCl i zmiany temperatury*. Rozprawy Naukowe Akademii Rolniczej w Lublinie, Lublin 1997
9. Świdarska-Bróz M., *Mikrozanieczyszczenia w środowisku wodnym*. Wydawnictwo Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 1993
10. Kabata-Pendias A., Stuczyński T., *Environmental and agricultural effects of trace metals in soils of Poland*. Proc. 5th Intern. Conf. Biogeochemistry of Trace Elements, Wiedeń 1999
11. Barabas W. i in., *Związki chromu w środowisku naturalnym*. Chemia i Inżynieria Ekologiczna, 4-5, 1999
12. Szalińska E., *Przemiany chromu w środowisku wodnym zanieczyszczonym ściekami garbarskimi*. Zeszyty Naukowe Politechniki Krakowskiej nr 283, seria: Inżynieria Środowiska, Kraków 2002
13. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 27 listopada 2002 r. w sprawie wymagań, jakim powinny odpowiadać wody powierzchniowe wykorzystywane do zaopatrzenia ludności w wodę przeznaczoną do spożycia (Dz.U. Nr 204, poz. 1728)
14. Council Directiv 98/83/EC of November 998n the quality of water intended for human consumption O.J.L. 5.12.1998
15. *Guidelines for drinking water quality*. Second edition, vol. 1. Recommendations. World Health Organization, Geneva 2004
16. Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 29 marca 2007 r. w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi (Dz.U. Nr 61, poz. 417)
17. Bielicka A., Bojanowska I., *Badanie efektywności ługowania jako procesu jednostkowego w odzysku chromu z przemysłowych osadów ściekowych*. Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej, Gdańsk 2001

INFLUENCE OF CHROMIUM COMPOUNDS ON BIOTIC PART OF ENVIRONMENT

S u m m a r y

Article presents short characteristic of chromium compounds which generally occurrence in natural environment. It describes biochemical conversions of chrome depending on its form of occurrence in individual parts of environments and its physiological and toxic interaction on alive organisms. The basic standard for contents of chromium compounds in drinking water, surface waters and effluents lead in to receiver or sewerage, are placed in paper.

Złożono w Oficynie Wydawniczej w sierpniu 2007 r.

Adam RYBKA
Przemysław SUCH
Rzeszów University of Technology

MODELING OF THE STEEL STRUCTURES OF THE ROOF OF THE EXAMPLE CIVIL BUILDING

In paper project of building of fuel station in Lezajsk city was describe. Modeling of the steel structures of the roof with analysis of main structural elements of civil building were done. In the work main attention was dedicated to problem of climatically loads of the building. Description of structural elements of building were done. Conception of construction of object were done.

1. Introduction

The object of study is project of a building of fuel station in Lezajsk city. Project became executed as qualifying graduate work in Rzeszow University of Technology, Department of Architecture and Town-planning [1]. Modeling of the steel structures of the roof with detailed analysis of main structural elements of civil building were done. In the work main attention was dedicated to problem of climat loads of the building. At projecting of construction accessible literature was used, valid Polish codes, decrees as well as computer programmes: Word, Excel, MathCAD, AutoCAD, ArchiCAD, RM-Win, Robot.

2. Analysis

A. Data of the projected building

Designed building has total surface 390 m^2 as well as cubature 1365 m^3 . Maximum height of building – 6.5 m, it is also height of roof of square of distributors. Square to fuelling of vehicles has surface 420 m^2 .

B. Description of the projected building

The building is leaning on steel construction. Steel St3S, R45, 18G2, solid metal sheet were used, plates GK, and finishes by PCV. Onto external walls it was applied plate BALEXTHERM PLUS, which assure sufficient thermal isolation.

The building became divided on 5 parts and as such became affected by constructional arrangement. In the first part it is a wash room, the second one is

a car workshop. The third part – shop, storehouse as well as the corridor alongside with business exit from building. In the fourth part: hall, toilets as well as social room and office space. Lastly, in the fifth part of building there are: bar, storehouse as well as kitchen (Fig. 1.) [2].

C. Design of roof

The main structure elements are: flat trusses shipped as arched cantilevers. They are made of RHS 133 x 82,5 mm from R45 steel grade. Trusses are connected to the building by bolted joints. Purlins were constructed using cold-formed hat section. They are calculated as continues beam with span length equal 6 m. Hat section for purlins was selected because of his advantage: height equal 15 cm and big section modulus about x as well as y axis, composing with Z section. Steel grade S 235 of design resistance $f_d = 215$ MPa was applied. Beam splices were designed as bolted joints. All trusses were connected by bracing located the plane of bottom trusses chord and in the middle pullins span [3].

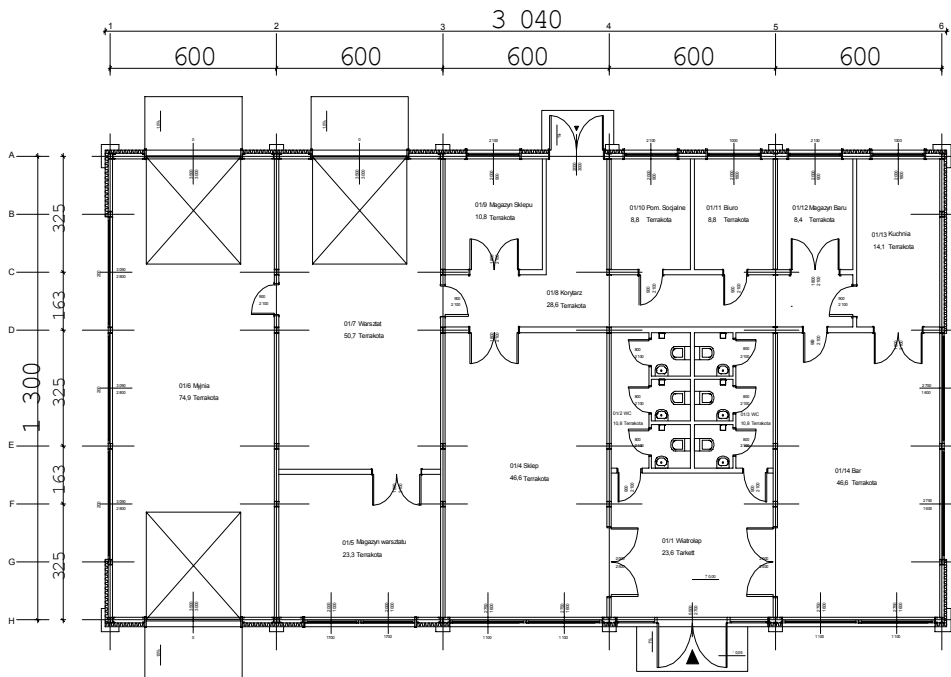


Fig. 1. Ground floor

D. Description of structural elements of the building

The following assumptions were adopted:

- 1) Foundations state of 6 reinforced concrete footing.



Fig. 2. South view



Fig. 3. South view

- 2) Onto external walls, plate BALEX THERM PLUS were applied.
- 3) Onto ceilings plate BALEX THERM D with the thicknesses of core 60/105 mm were applied. Under plates they are bolts which make up the support for roof plates as well as they serve for fastening of hanged ceiling as well as electric installation, lighting facilities, air-conditioning and heating.
- 4) Cover of roof umbrella in the front as well as in the back constitute sheet metal BALEX METAL of firm Balex of the thicknesses 0.63 mm. Sheet metal, is sufficient SGN, as well as SGU and the maximum deflection of sheet metal satisfies the require of $l/150$. The width of metal sheet is 900 mm.
- 5) Mechanical ventilation was designed for the building.



Fig. 4. North view

E. Conception of construction of the object

Building was designed as steel skeleton construction. Main bearing arrangements make up plane frames made of HEB, IPE sections as well as isosceles squares. Roof as well as places of fuelling of vehicles make up cantilever construction executed in shape from steel pipes. Shape of roof became designed as an individual form (Fig. 2÷4).

3. Conclusions

Generally it can be considered that by using steel light structures very interesting and picturesque effect was achieved. The object in view of one's specific construction inflicts sure computational difficulties. Particularly in the range of analysis of climatic actions, wind and snow. Polish Codes, as well as accessible literature do not explain way of delimitation of pressure of wind whether loading of snow unambiguously.

Second difficulty is, delimitation of natural period of structure. To facilitate assignment of natural period the construction was divided onto few flat bearing arrangements. Natural period was calculated by using commercial software ROBOT.

Next problem is design of tank square covering. Bottom and upper belts became executed from steel pipes bent into suitable bows. Each chord consists of two arches of different radius and straight parts.

References

1. Such P., *Architectural project of fuel station in Leżajsk city*. Qualifying graduate work, Rzeszow University of Technology, Department of Buildings and Environment Engineering, Rzeszow 2005
2. Decree No. 98/1067 of Minister of Economy, *Technical conditions for bases and stations of smooth fuel, far-reaching pipelines to transportation of oils and oil products as well as their location*. 17 November 2000
3. PN – 90/B – 03200. *Steel Construction. Calculations of static and design*

MODELOWANIE STALOWEJ KONSTRUKCJI DACHU PRZYKŁADOWEGO BUDYNKU UŻYTECZNOŚCI PUBLICZNEJ

Streszczenie

W artykule opisano projekt budynku stacji benzynowej w Leżajsku. Przedstawiono modelowanie stalowej konstrukcji dachu oraz analizy głównych elementów konstrukcyjnych budynku. W artykule główną uwagę poświęcono problemom analizy obciążeń związanych z wpływami atmosferycznymi. Opisano elementy konstrukcyjne budynku. Omówiono koncepcję konstrukcyjną obiektu.

Złożono w Oficynie Wydawniczej we wrześniu 2007 r.

Janusz R. RAK
Politechnika Rzeszowska

KATASTROFY I AWARIE ZAPÓR WODNYCH

*Praca poświęcona pamięci mojego Przyjaciela
Profesora Władysława Łakoty*

W pracy przedstawiono analizę awarii i katastrof zapór wodnych, które miały miejsce na świecie i w Polsce. Dokonano krótkiego przeglądu historii budowy zapór wodnych na tle rozwoju cywilizacyjnego. Wyróżniono trzy rodzaje katastrof, analizując główne przesłanki, które je spowodowały: naturalne powodzie (środowiskowe), przyczyny techniczne (błędy projektowe i wykonawcze) oraz celowa działalność człowieka (działania wojenne).

1. Wprowadzenie

Historia zapór wodnych jest integralną częścią rozwoju cywilizacji ludzkości. Pierwsze historyczne wzmianki o budowie zapór pochodzą z Egiptu, z czasów panowania faraona Menesa – około 2900 r. p.n.e. [1]. Wybudowana zapora spiętrzała wody Nilu, a powstały zbiornik służył do zaopatrzenia w wodę Memfis, stolicy kraju. Był to obiekt prostoliniowy, murowany, o wysokości 15 m i długości 450 m.

Pierwsza katastrofa dotknęła zaporę Al-Kafera k. Kairu ok. 2600 r. p.n.e. Powodem zniszczenia było przelanie się wody przez koronę, ponieważ nie przewidziano upustu do przepuszczenia nadmiaru wody [2]. To niepowodzenie na długie lata wstrzymało budowanie zapór przez starożytnych. Dopiero około 1300 r. p.n.e. w Syrii wybudowano zaporę kamienną na rzece Nehr al-Asi, o długości 2 km i wysokości 6 m, która przetrwała po dzień dzisiejszy, jakkolwiek jej zamulenie sięga 90%. Najstarszą zaporę Mezopotamii zbudowano około 1600 r. p.n.e. na rzece Eufrat koło Babilonu za panowania Hammurabiego [1]. Miała ona wysokość 12 m i długość 20 km, służyła do nawadniania i zaopatrzenia w wodę stolicy kraju. Zapora została zniszczona przez powódź kilkadziesiąt lat po jej wybudowaniu. Historycznie udokumentowaną zaporą piętrzącą Mezopotamii była kamienna Adzlili wybudowana w latach 705-681 r. p.n.e. w celu ułatwienia zdobycia stolicy – Niniwy. Persowie i Babilończycy zniszczyli tę zaporę, zalewając znaczną część miasta [4]. W podobny sposób Asyryjczycy

zdobyli Babilon. Zbudowali prowizoryczną zaporę powyżej Babilonu na Eufracie, po czym zniszczyli ją, wywołując sztuczną powódź, która zatopiła miasto i zmusiła obrońców do ucieczki [1]. Na terenie królestwa Saby (dzisiejszy Jemen) wybudowano w 750 r. p.n.e. zaporę ziemną obłożoną kamieniami – Arimu (Marib). Zapora była zaopatrzona w dwa boczne upusty, co stanowiło nowatorskie rozwiązanie w tym zakresie i pozwoliło jej przetrwać ponad 1300 lat (uległa zniszczeniu na skutek trzęsienia ziemi w 575 r. n.e.) [1]. Ten krótki rys historyczny zaświadcza, że katastrofy zapór wodnych towarzyszyły ludziom od pradawnych czasów.

Celem pracy jest analiza przyczyn katastrof tego rodzaju budowli hydrotechnicznych w skali światowej i krajowej.

2. Współczesne katastrofy i awarie zapór wodnych na świecie

Jak przedstawiono we wprowadzeniu, przekazy i dokumenty historyczne świadczą o dużym procencie niepowodzeń związanych z budową zapór wodnych. Na przestrzeni wieków mimo doskonalenia technik budowy liczba awarii i katastrof nie uległa znaczącej redukcji. Wynikało to z konieczności lokalizowania budowli hydrotechnicznych w coraz to trudniejszych warunkach geologicznych i rosnącej wielkości tego rodzaju przedsięwzięć inżynierskich. Wyłączając czasy starożytne, współczesne dane statystyczne stwierdzają, że 58% ogółu awarii i katastrof budowli wodnych zdarzyło się na skutek niedostatecznego rozeznania warunków geologicznych i ich posadowienia, a pozostałe 42% związane było z niedostatecznym rozpoznaniem hydrologii rzek i rozwiązań projektowych [4]. Przyczyny katastrof związane z warunkami geologicznymi przedstawiają się następująco [5]:

- 40% – przebicie się wody pod zaporą na skutek sufozji krasu lub dyslokacji tektonicznych,
- 10% – nierównomierne osiadanie podłoża skalnego pod zaporą,
- 5% – osuwisko gruntu na zboczach doliny zbiornika, a w szczególności w strefie przyczółków zapory,
- 3% – ruchy sejsmiczne,

co daje w sumie 58%.

Przyczyny pozostałych 42% katastrof są następujące: związane z błędami projektowymi przepustowości przelewów – 23%, błędy konstrukcyjne – 12%, przyczyny nierozpoznane – 7% [5].

W XIX i XX wieku miało miejsce 298 poważnych awarii i katastrof zapór wodnych, z czego na XX w. przypada 250 niepożądanych zdarzeń tego rodzaju. Najwięcej z nich zanotowano w USA, ale wynika to z braku danych z byłego Związku Radzieckiego i Chin. W tabeli 1. zestawiono najbardziej spektakularne katastrofy zapór wodnych, które wydarzyły się w XX w. i spowodowały ofiary śmiertelne [1, 4].

Tabela 1. Najbardziej znaczące katastrofy zapór wodnych

Zapora	Kraj	Liczba ofiar	Rok katastrofy
Austin	USA	1000	1911
Gleno	Włochy	400	1923
SaintFrancis	USA	500	1929
Zerbino	Włochy	80	1936
La Vega de tera	Hiszpania	115	1959
Malpasset	Francja	400	1959
Guma	Sierra Leone	15	1962
El Frayle	Peru	100	1969
Tieton	USA	11	1976
Taccoa	USA	37	1977
Morvi	Indie	650	1978
Arandas	Meksyk	25	1980
Kosi	Nepal	300	1981
Binga	Filipiny	162	1981
Tour	Hiszpania	43	1982

W tabeli 2. przedstawiono skróconą analizę zbudowanych i zniszczonych zapór wodnych w pierwszej połowie XX w. oraz skutków z tym związanych [1].

Tabela 2. Zapory wodne zbudowane i zniszczone w 1 poł. XX w.

Lata	Liczba zbudowanych zapór	Liczba zniszczonych zapór	% zniszczonych zapór	Liczba ofiar
1900-1909	190	9	4,74	100
1910-1919	280	12	4,29	10
1920-1929	430	8	1,86	1010
1930-1939	450	1	0,22	-
1940-1949	390	-	-	-
1950-1959	960	4	0,42	570
Suma	2700	34	1,26	1690

3. Analiza przyczyn katastrof zapór na świecie

- Ciężka zapora betonowa w Austin została zniszczona 30 września 1911 r. Miała 15 m wysokości i została posadowiona na poziomo uwarstwionych piaskowcach z przekładkami łupków. Już przy pierwszym napełnieniu zbiornika w 1910 r. nastąpiło pęknięcie korpusu i przesunięcie się części zapory o 15 cm. Dokonano powierzchniowych napraw i ponownie przystąpiono do napełnienia zbiornika. Przyczyną katastrofy była słaba jakość betonu, brak

przesłony cementowej w podłożu, co było powodem powstania dużych kawern krasowych pod stopą fundamentową zapory. Ponadto zbyt płytkie zagłębienie stopy przy uwarstwieniu podłoża spowodowało uślizg budowli. Efektem było spękanie i przesunięcie się części bloków, pozostałe zaś uległy przewróceniu.

- Ciężka łukowa zaporą betonową Saint Francis została wybudowana w latach 1924-1926, miała 62,5 m wysokości. Została zniszczona w nocy z 12 na 13 grudnia 1928 r. Nie posiadała galerii, nie wykonano przesłony przeciwfiltracyjnej w podłożu. Lewa część posadowiona była na łupkach ilastych, a prawa spoczywała na konglomeratach z wkładkami gipsu. Od początku eksploatacji obserwowano wzmożone przecieki przez podłoże. Ponieważ przeciek był klarowny, nie wiązano go więc z erozją podłoża. W feralną noc oba skrzydła zapory uległy zniszczeniu na skutek przewrócenia. Bezpośrednią przyczyną katastrofy było wypłukanie słabego podłoża. Uwolniona woda przeniosła 300-tonowe bloki betonu na odległość 2 km w dół rzeki.
- Ciężka zaporą kamienna, murowana na zaprawie wapiennej Bouzey we francuskich Wogezach została zbudowana w 1878 r., miała 22 m wysokości. W latach 1884-1985 zauważono spękanie muru połączone z przeciekami, nastąpiło 38 cm przesunięcie budowli. W ramach prac naprawczych dokonano iniekcji spękań oraz wzmocniono fundament zapory. Mimo to 27 kwietnia 1895 r. nastąpiło wywrócenie 10-metrowej górnej części zapory na długości 180 m. W wyniku analizy katastrofy stwierdzono nieuwzględnienie wyporu wody w spoinach muru. Spowodowało to powstanie naprężeń rozciągających w ścianie od strony odwodnej i powstanie szczelin poziomych w spoinach muru.
- Wielołukowa zaporą Gleno została zbudowana po zakończeniu I wojny światowej, miała wysokość 60 m. Pierwotny projekt przewidywał zaporę ciężką, posadowioną w części na podmurówce z muru kamiennego na zaprawie wapiennej, a nie na skale rodzimej. Po zmianie koncepcji żelbetowe łuki i betonowe filary oparto na wspomnianej podmurówce. W dniu 1 grudnia 1923 r. zawaliło się 8 filarów, w wyniku czego zniszczeniu uległo 9 przeseł łuków konstrukcji piętrzącej.
- Boczna betonowa zaporą Alla Sella Zerbino, odgradzająca zbiornik Ortiglietto we włoskiej Ligurii od sąsiedniej doliny, miała 12 m wysokości. Posadowiona została na łupkach mało odpornych na erozję. W dniu 13 sierpnia 1935 r. w wyniku obfitych opadów deszczu nastąpiło przepełnienie zlewni zbiornika o 5 m ponad korony zapory głównej i bocznej, z powodu zablokowania przez zanieczyszczenie stałych przelewów lewarowych i utratę zdolności manewrowych zasuw spustowych. Zaporą główną wytrzymała to przepełnienie, natomiast boczna, na skutek podmycia fundamentów i zwiększonego obciążenia poziomego, utraciła stateczność na przesunięcie i uległa zniszczeniu.

- Płytkowo-filarowa zaporą Vega de Tera zbudowana w 1957 r. miała 34 m wysokości. Filary zapory wykonano z muru kamiennego, a płyty ścian piętrzących z żelbetu. W dniu 10 stycznia 1959 r. zawalił się filar przy przyczółku, pociągając za sobą zawał następných 16 filarów. Badania laboratoryjne wykazały odstępstwa wytrzymałościowe wybudowanych filarów od założeń projektowych.
- Zaporą Malpasset we Francji zbudowana została w 1958 r., a już po roku eksploatacji uległa zniszczeniu na skutek pęknięcia korpusu, który posadowiono na różnym pod względem wytrzymałościowym podłożu. Lewy przyczółek oparty był na mocnych gnejsach, a prawy na słabym piaskowcu.
- Zaporą Tieton w USA wybudowana w 1975 r. miała 100 m wysokości i posadowiona była na przepuszczalnych zeolitach. Po napełnieniu zbiornika powstała na skutek sufozji szczelina, której nie udało się wypełnić wykonaną pod ciśnieniem przesłoną cementową. W dniu 5 czerwca 1976 r., w wyniku powstałej wyrwy w korpusie zapory, uległa zniszczeniu.
- Zaporą Fergout w Algierii została zbudowana w 1870 r. Rok później pękła na trzy części. Po dokonaniu stosownej naprawy w 1887 r. nastąpiła ponowna poważna awaria, na skutek uskoku, którego wcześniej nie wykryto. Również tę awarię udało się usunąć. W 1927 roku zaporą uległa uszkodzeniu spowodowanemu trzęsieniem ziemi. Przywrócono ją ponownie do eksploatacji w 1960 r., co stanowi do dzisiaj swego rodzaju rekord w rewitalizacji zapór wodnych.
- Innego rodzaju katastrofa miała miejsce 9 października 1963 r. w zbiorniku zaporowym Vajont na rzece Pawie we Włoszech. Na skutek ogromnego osuwiska do zbiornika nastąpiło przelanie się wody przez zaporę (nie uległa ona zniszczeniu) i zatopienie doliny poniżej. Do zbiornika runęło 250 mln m³ skalnego rumoszu, wypełniając go w 2/3 objętości, co spowodowało jego beżużyteczność.
- Ruchy mas ziemnych na zboczach zbiorników były przyczyną spektakularnych wypełnień czasz zbiorników wodnych w: Castillon i Bort-les-Organes we Francji, Kyrdzali w Bułgarii, Nehranice w Czechach, Cogotu w Chile, ElFrayle w Peru i Darbandii Chan w Iraku [5].

Kolejny rodzaj poważnych awarii zapór wodnych jest związany z niemożnością piętrzenia wody do żądanego poziomu. Zaporą Maria Cristina posadowiona jest na wapieniach i dolomitach, przez które przecieka w sposób ciągły 2,5 m³/s wody (mimo wielu zabiegów uszczelniających), co uniemożliwia osiągnięcie projektowanego poziomu piętrzenia. W zaporze Dukan w Iraku przeciek przez podłożę wapienne, któremu towarzyszą procesy krasowe, szacuje się na 6 m³/s. Ucieczki wody stwierdzone są pod zaporą Szarawati w Indiach (2 m³/s), a także pod zaporą Le Sautet we Francji i Dworsahak w USA. W byłym Związku Radzieckim wykrycie szczelin w podłożu wapiennym spowodowało obniżenie wysokości łukowej zapory Inguri na Kaukazie z 300 do 272 m.

Retencja bardzo dużych ilości wody w zbiornikach zaporowych może wywołać lokalne naprężenia w litosferze, które uzewnętrzniają się w postaci tąpnięć sejsmicznych. Po zbudowaniu zapory Hoovera przy napełnianiu zbiornika Mead już przy spiętrzeniu do 100 m odnotowano wielokrotnie tego rodzaju zjawisko. Po uzyskaniu docelowego spiętrzenia 200 m liczba tąpnięć wynosiła już ponad 5000. Podobne zjawiska zaobserwowano w Indiach (zbiornik Koyna) i na obrzeżach zbiornika Koriba w Afryce. Należy podkreślić, że wymienione zbiorniki leżą w naturalnych strefach asejsmicznych.

4. Przykłady celowych zniszczeń zapór w warunkach wojennych

- Za największą katastrofę uważa się zniszczenie w 1938 r. przez Chińczyków zapory Huang He w celu powstrzymania ofensywy wojsk japońskich. Zginęło wówczas 0,5 mln osób.
- W czasie inwazji wojsk hitlerowskich na ZSRR w 1941 r. wojska radzieckie w czasie odwrotu poważnie uszkodziły, za pomocą 90 ton materiału wybuchowego, zapórę Dnieprogres na Dnieprze. W korpusie zapory powstała wyrwa o długości 200 m, którą spłynęło $\frac{3}{4}$ pojemności zbiornika. Następnie Niemcy częściowo odbudowali zapórę, którą wycofując się z tych terenów, ponownie zniszczyli poprzez bombardowanie lotnicze. Po wojnie Rosjanie odbudowali zapórę i rozbudowali elektrownię wodną.
- Podczas II wojny światowej lotnictwo brytyjskie w 1942 r. zbombardowało trzy zapory w zagłębiu Ruhry. Były to: Möhne, Edertal i Sorpe. Największe zniszczenie wywołał atak na murowaną zapórę Möhne o wysokości 46 m. Obiekt był chroniony balonami przeciwlotniczymi i siecią przeciwtorpedową. Wykorzystano opracowane w laboratorium wodnym Wallingford specjalne 2-tonowe bomby poruszające się skokowo (odbijające się od tafli wody), które zrzucono przed zapórę od strony górnej wody. Efekt był zaskakująco dobry – powstała wyrwa w korpusie zapory o szerokości 75 m, przez którą uwalniało się 9000 m³/s wody, tworząc falę o wysokości 10 m. Poważnie ucierpiało przemysłowe miasto Gelsenkirchen, a zginęło 1200 osób. Bezpośredni nalot lotniczy na zapórę Sorpe mimo 11 trafień nie wywołał uwolnienia wody ze zbiornika, a jedynie podwyższoną filtrację, co skutkowało obniżeniem poziomu piętrzenia. Wszystkie trzy zapory zostały odbudowane do jesieni 1943 r.
- W czasie wojny domowej w Chorwacji (1991 r.) wojska serbsko-jugosłowiańskie zaminowały zapórę ziemną Peruća o wysokości 69 m. Pięć ładunków zostało zdetonowanych przed odbiciem terenu przez Chorwatów. Uszkodzona została korona zapory, galerie, spusty i przyczółki. Zapadlisko korony położone było jedynie o 50 cm powyżej poziomu piętrzenia, co uniemożliwiło przelanie zapory i pewne jej zniszczenie. Odbudowa trwała dwa lata.

- Na uwagę zasługuje udaremnienie przez polską partyzantkę wysadzenia zapory w Rożnowie. Wycofujący się Niemcy zaminowali zapórę, planując jej zniszczenie, co powstrzymałoby ofensywę wojsk radzieckich. Uważa się, że fakt udaremnienia zniszczenia zapory w sposób decydujący wpłynął na odzyskanie Krakowa bez walki, a tym samym zapobiegło to zniszczeniu bezcennych dóbr kultury narodowej.

5. Przykłady krajowych poważnych awarii i katastrof budowli piętrzących

- W 1967 roku w Polsce miało miejsce przerwanie zapory ziemnej zbiornika osadów poflotacyjnych w kopalni miedzi „Konrad” w Iwinach. Była to pierwsza katastrofa budowli piętrzącej w kraju.
- W dniu 10 czerwca 1979 r. nastąpiło przerwanie zapory ziemnej o wysokości 5 m zbiornika ścieków przemysłu spożywczego w Łomży. Bezpośrednią przyczyną było przepełnienie zbiornika do krawędzi korony zapory, które na skutek falowania od wiatru spowodowało przelanie ścieków przez koronę zapory i jej rozmycie.
- W nocy z 2 na 3 lutego 2000 r. w Górowie Howieckim nastąpiło zniszczenie zapory ziemnej o wysokości 9 m, która tworzyła zbiornik rekreacyjny na rzece Młynówce. Bezpośrednią przyczyną katastrofy było przelanie się wody przez koronę zapory na skutek nagłych roztopów śniegu. Wywołana katastrofą fala pochłonęła 3 ofiary śmiertelne.
- Ulewny deszcz 25 lipca 2001 r. w zlewni rzek Pokrzywicy i Świśliny spowodował przelanie się wody przez 10-metrową ziemną grodzę budowanej zapory wodnej w Wiórach. Przepisy techniczno-budowlane nakazują budowę tego rodzaju obiektu na wodę dwudziestoletnią (o prawdopodobieństwie 0,05). Ze względów finansowych budowa zapory trwała ponad 20 lat! Tak długi cykl budowy głównej zapory spowodował, że pojawiła się woda o prawdopodobieństwie 0,01 (stuletnia).

W Polsce istnieje 2500 budowli piętrzących wodę na wysokości powyżej 1 m, z czego 99 to budowle piętrzące wodę w zbiornikach wodnych o pojemności całkowitej powyżej 2 mln m³. W zależności od wymagań dotyczących głównie bezpieczeństwa, zapory i jazy zaliczane są do czterech klas ważności [6, 7].

6. Model szacowania ryzyka katastrofy

Współcześnie ryzyko definiowane jest jako uporządkowany trójelementarny zbiór:

$$r = (S, P, C) \quad (1)$$

gdzie: S – negatywny scenariusz opisany jako ciąg następujących po sobie zdarzeń niepożądanych,

P – prawdopodobieństwo zajścia S ,

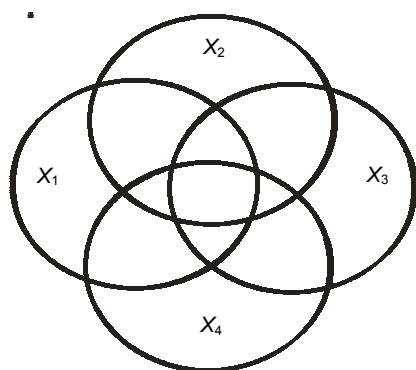
C – miara strat wywołanych przez S .

Katastrofy zapór wodnych mogą wystąpić na skutek czterech podstawowych przyczyn:

- X_1 – błędów popełnionych w fazie projektowania,
- X_2 – błędów związanych z wykonawstwem budowli,
- X_3 – działań sił natury,
- X_4 – celowych działań człowieka.

Każdej z wymienionych przyczyn można przypisać prawdopodobieństwo wystąpienia zdarzenia niepożądanego (katastrofy) $P(X_i) - i = 1, 2, 3, 4$.

Na rysunku 1. pokazano 4 obszary zdarzeń niepożądanych skutkujących katastrofą zapory wodnej.



Rys. 1. Współzależności zdarzeń niepożądanych

Całkowite prawdopodobieństwo katastrofy zapory wodnej wyznacza się według procedury:

- określenie następujących sum cząstkowych:

$$Y_1 = \sum_{i=1}^4 P(X_i) \quad (2)$$

$$Y_2 = \sum_{i < j} P(X_i) \cdot P(X_j) = P(X_1) \cdot P(X_2) + P(X_1) \cdot P(X_3) + P(X_1) \cdot P(X_4) + \\ + P(X_2) \cdot P(X_3) + P(X_2) \cdot P(X_4) + P(X_3) \cdot P(X_4) \quad (3)$$

$$Y_3 = \sum_{i < j < k} P(X_i) \cdot P(X_j) \cdot P(X_k) = P(X_1) \cdot P(X_2) \cdot P(X_3) + P(X_1) \cdot P(X_2) \cdot P(X_4) + \\ + P(X_1) \cdot P(X_3) \cdot P(X_4) + P(X_2) \cdot P(X_3) \cdot P(X_4) \quad (4)$$

$$Y_4 = P(X_1) \cdot P(X_2) \cdot P(X_3) \cdot P(X_4) \quad (5)$$

- wyznaczenie prawdopodobieństwa całkowitego katastrofy ze wzoru:

$$P_c + \sum_{i=1}^4 (-1)^{i+1} \cdot Y_i \quad (6)$$

Po rozwinięciu otrzymuje się:

$$\begin{aligned} P_c = & P(X_1) + P(X_2) + P(X_3) + P(X_4) - P(X_1) \cdot P(X_2) - P(X_1) \cdot P(X_3) - \\ & - P(X_1) \cdot P(X_4) - P(X_2) \cdot P(X_3) - P(X_2) \cdot P(X_4) - P(X_3) \cdot P(X_4) + \\ & + P(X_1) \cdot P(X_2) \cdot P(X_3) + P(X_1) \cdot P(X_2) \cdot P(X_4) + P(X_1) \cdot P(X_3) \cdot P(X_4) + \\ & + P(X_2) \cdot P(X_3) \cdot P(X_4) - P(X_1) \cdot P(X_2) \cdot P(X_3) \cdot P(X_4) \end{aligned} \quad (7)$$

Znając całkowite prawdopodobieństwo katastrofy, zgodnie z formułą (1), można wyznaczyć globalne ryzyko katastrofy zapory wodnej [7]:

$$r = P_c(C_m + C_l + C_u) \quad (8)$$

gdzie: C_m – koszty strat materialnych,

C_u – koszty odszkodowań ubezpieczeniowych,

C_l – straty związane z utratą życia ludzkiego.

Procedurę kategoryzacji wartości ryzyka według skali trójstopniowej (tolerowane, kontrolowane, nieakceptowalne) przeprowadza się zgodnie z zasadami podanymi w pracy [8].

7. Podsumowanie

- Katastrofy budowli hydrotechnicznych towarzyszą ludzkości od przeszło 5 tysięcy lat i należą do najgroźniejszych w skutkach, powodując ofiary śmiertelne, zniszczenie mienia i środowiska.
- Obecnie notuje się wzrost wykrywania symptomów poważnych awarii i katastrof budowli wodnych na skutek rozbudowanych metod monitoringu. Taki stan rzeczy sprzyja podejmowaniu środków zaradczych i ułatwia pozyskiwanie środków finansowych dla poprawy bezpieczeństwa, a równocześnie zapobiega zdarzeniom katastroficznym.
- Każdą zapórę wodną można zniszczyć przy użyciu materiałów wybuchowych. Budowle nasypowe są bardziej odporne na ataki lotnicze lub działania terrorystyczne, a ich proces niszczenia jest wolniejszy niż zapór kamiennych i betonowych.

- W Polsce *Prawo budowlane* wymaga stosowania środków zapobiegawczych w okresie normalnej eksploatacji zapory wodnej, poprzez pomiary kontrolne, badania stanu technicznego i oceny bezpieczeństwa. Monitoruje się przemieszczenia i odkształcenia zapory, zjawiska filtracyjne, przeprowadza kontrolę urządzeń spustowych oraz wykonuje badania specjalne właściwości materiałów konstrukcyjnych oraz gruntów i skał podłoża budowli. Według *Prawa wodnego* nadzór nad zaporami stanowiącymi własność skarbu państwa (I i II klasa ważności) sprawuje Ośrodek Technicznej Kontroli Zapór Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej. Nadzór nad stanem wszystkich budowli piętrzących sprawuje Główny Urząd Nadzoru Budowlanego.
- Współczesne statystyki wykazują, że 70% katastrof zapór wodnych następuje w okresie pierwszych 10 lat ich eksploatacji.
- Obecnie w Polsce oceny stanu technicznego i bezpieczeństwa budowli piętrzących dokonuje się na podstawie deterministycznych współczynników bezpieczeństwa. Od lat 90. ubiegłego stulecia widoczny jest w skali światowej rozwój metod związanych z analizą i oceną ryzyka, których istotnymi elementami jest szacunek kosztów strat oraz kosztów działań prewencyjnych, zabezpieczających przed powstaniem katastrofy.

Literatura

1. Głodek J., *Jeziora zaporowe świata*. PWN, Warszawa 1985
2. Fiedler K., *Bezpieczeństwo budowli wodnych*. Wydawn. SITWM, Warszawa 1981
3. Fiedler K., *Zapory a wojna i terroryzm*. Mat. XXXIII Seminarium „Zagadnienia bezpieczeństwa wodnego”. Wydawnictwo Instytutu Problemów Współczesnej Cywilizacji, Warszawa 2005, s. 23-32
4. Fiedler K., *Katastrofy zapór betonowych i kamiennych*. Mat. konf. „Problemy budownictwa wodnego i gospodarki wodno-ściekowej w Polsce ze szczególnym uwzględnieniem regionu Podkarpacia”, Wydawnictwo Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 2001, s. 178-181
5. Fiedler K., *Kilka uwag o awariach i katastrofach nasypowych budowli wodnych*. Mat. konf. „Problemy budownictwa wodnego i gospodarki wodno-ściekowej w Polsce ze szczególnym uwzględnieniem regionu Podkarpacia”, Wydawnictwo Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 2001, s. 182-185
6. Fiedler K., Jankowski M., Kloze J., Ozga-Zielińska M. i in., *Przyczyny i skutki katastrof zapór oraz systemy ostrzegawcze i alarmowe, w tym ASTKZ, jako elementy technicznej kontroli zapór*. Wydawnictwo Ośrodka Technicznej Kontroli Zapór IMGW, Warszawa 2003
7. Opyrczał L., *Metoda analizy i oceny ryzyka awarii opracowana dla polskich budowli hydrotechnicznych*. Materiały badawcze nr 17, seria: Inżynieria wodna. Wydawnictwo Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej, Warszawa 2005
8. Rak J., Tchórzewska-Cieślak B., *Metody analizy i oceny ryzyka w systemie zaopatrzenia w wodę*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 2005

DISASTERS AND DAMAGES OF DAMS**S u m m a r y**

The paper presents analysis of disasters and damages of dams, which took place throughout the world and Poland. A short review of dam building history against civilization progress has been done. Three kinds of dam disasters were identified depending on the main their causes: natural floods (environmental), technical reasons (designing and realization errors), intentional human action (warfare). For each disaster kind a direct causes of events were defined.

Złożono w Oficynie Wydawniczej w lipcu 2007 r.

Adam RYBKA
Artur OSTAFIJCZUK
Paulina NOWAK
Politechnika Rzeszowska

WSPÓŁCZESNE ZASADY KSZTAŁTOWANIA BUDYNKÓW MIESZKANIOWYCH W POLSCE

W referacie scharakteryzowano współczesne zasady kształtowania budynków mieszkalnych w Polsce. Przybliżono potrzeby współczesnych mieszkańców. Pokazano możliwości poprawy mieszkań z wykorzystaniem istniejących budynków wielorodzinnych.

1. Wprowadzenie

Z początkiem XX w. wraz z industrializacją nastąpiła zmiana sposobu myślenia w zakresie projektowania mieszkaniowego. Napływ ludności do miast w poszukiwaniu pracy spowodował wzrost zapotrzebowania na tanie i wygodne mieszkania. Nastąpił zwrot ku funkcjonalizmowi. W latach 20. problemy mieszkaniowe w Polsce były podobne jak w całej Europie. Architekt Jacek Nowicki tak to opisuje: „Przeszło 66% zasobu mieszkaniowego stanowiły mieszkania jedno- i dwuizbowe, o zaludnieniu 4 osoby na izbę; tylko 13% budynków skanalizowanych, a 16% wyposażonych w wodociąg. Dominowała przy tym zabudowa zwarta, intensywna, w której znaczna część mieszkań pozbawiona była dostępu do słońca, możliwości przewietrzania, a znaczne obszary miasta były w ogóle pozbawione zieleni”¹.

Po pierwszej wojnie światowej wzrosło zapotrzebowanie na nowy typ mieszkań dla dużej grupy społecznej. Ówczesni architekci zaczęli analizować potrzeby przyszłego mieszkańca z punktu widzenia socjologicznego i biologicznego. W ten sposób wykształcił się miejski dom mieszkalny o lepszym rozplanowaniu i o wyższym standardzie wyposażenia technicznego. Proces stopniowego modernizowania i doskonalenia tego typu domu doprowadził do ukształtowania współczesnego miejskiego domu mieszkalnego w jego dwu zasadniczych odmianach: budynku śródmiejskiego i budynku osiedlowego.

¹ Por. N. Pevsner, J. Fleming, H. Honour, *Encyklopedia architektury*, Warszawa 1997.

2. Struktura, lokalizacja, klasyfikacja budynków mieszkalnych

Formy zabudowy domów mieszkalnych

Zabudowa blokowa

Forma zabudowy niskiej w postaci zamkniętej, jednolitej bryły lub szeregu pojedynczych budynków. Możliwa duża intensywność zabudowy. Budynki zróżnicowane zewnętrznie i wewnętrznie, funkcjonalnie i przestrzennie.

Zabudowa rzędowa

Forma zabudowy niskiej, otwartej, jako grupa jednakowych lub wariantowych typów domów, ewentualnie domów projektowanych indywidualnie wg różnych koncepcji. Niewielkie różnice zewnętrzne i wewnętrzne budynków.

Duże formy zabudowy

Połączenie i rozwinięcie form zabudowy pojedynczej w duże formy zabudowy, w postaci budynków pojedynczych lub zabudowy płaskiej (niskiej) w dużej skali. Niewielkie różnice zewnętrzne i wewnętrzne między budynkami.

Domy mieszkalne klatkowe

Poszczególne pomieszczenia są dostępne bezpośrednio z klatki schodowej. Wyróżnia się następujące rodzaje budynków o układzie klatkowym:

- z wejściem tylko do jednego mieszkania na każdej kondygnacji – rozwiązanie nieekonomiczne. Zwykle obowiązuje ograniczenie do 4 kondygnacji, bez dźwigu,
- z wejściem do dwóch mieszkań na każdej kondygnacji – rozwiązanie optymalne funkcjonalnie i ekonomicznie. Możliwe różne rozwiązania rzutu z dobrym nasłonecznieniem. Typy mieszkań z różną liczbą pomieszczeń. W budynkach powyżej czterech kondygnacji stosuje się dźwig osobowy. Budynki o wysokości powyżej 22 m są zaliczane do budynków wysokich i są objęte odrębnymi przepisami budowlanymi,
- z wejściem do trzech mieszkań na każdej kondygnacji – na jednej kondygnacji mieszkania 2-, 3- i 4-pokojowe,
- z wejściem do 4 mieszkań na kondygnacji – odpowiednie ukształtowanie rzutu zapewnia odpowiedni standard mieszkań przy niskich kosztach. Możliwe zróżnicowanie typów mieszkań na poszczególnych kondygnacjach².

² Por. E. Neufert, *Podręcznik projektowania architektoniczno-budowlanego*, Warszawa 2004.

Budynki galeriowe i korytarzowe

W budynkach galeriowych i korytarzowych występuje system komunikacji poziomej na poszczególnych kondygnacjach, wiążący jeden lub więcej pionów komunikacyjnych oraz wejście do budynku. Jeśli komunikacja pozioma jest usytuowana we wnętrzu budynku, ma się do czynienia z budynkiem korytarzowym. W takim przypadku mieszkania jednopoziomowe mają orientację jednostronną, dlatego należy dążyć do rozplanowania mieszkań na dwóch lub więcej kondygnacjach.

W przypadku galerii komunikacja pozioma przebiega po zewnętrznej stronie budynku. Galeria otwarta w warunkach klimatu środkowoeuropejskiego jest rozwiązaniem niekorzystnym. Od strony galerii powinny być zlokalizowane pomieszczenia drugorzędne. Znacznie lepszym rozwiązaniem w tym przypadku są mieszkania rozplanowane na 2 kondygnacjach. Natomiast rozmieszczenie na jednym poziomie to odpowiednie rozwiązanie dla małych mieszkań.

Komunikacja pionowa składa się ze schodów oraz dźwigów osobowych. Rozróżnia się pionowe komunikacyjne wbudowane, dobudowane oraz wolno stojące. Komunikacja pozioma powinna być zminimalizowana na poszczególnych kondygnacjach, co umożliwi lepsze wykorzystanie przestrzeni na cele mieszkalne.

Komunikacja pozioma na co drugiej kondygnacji pozwala na korzystne rozplanowanie dużych mieszkań na dwóch kondygnacjach w kombinacji z mieszkaniami małymi, dostępnymi z poziomu wejściowego. Dobre rozwiązania można uzyskać, stosując galerię naprzemienną.

Domy mieszkalne punktowe

Domy mieszkalne występujące pojedynczo, usytuowane swobodnie w terenie, bez możliwości utworzenia wnętrza. Dominują w zabudowie miejskiej, często połączone są ze strukturą płaskiej zabudowy zblokowanej. Rozczłonkowanie rzutu określa formę przestrzenną budynku. Znacznie rozbudowana linia obrysu budynku podkreśla jego wysokość.

Budynki tarasowe

Zabudowa tarasowa formowana jest na stoku z wykorzystaniem różnic terenu do charakterystycznego przesuwania piętrami brył. Stosowanie tego typu zabudowy wpłynęło na zmianę poglądów o przydatności terenów o znacznych spadkach do celów mieszkaniowych. Dotychczas uważano, że tereny takie powodują komplikacje techniczne i większe koszty budowy. Obecnie zyskały one aprobatę zarówno projektujących, jak i użytkowników. Pierwsze takie realizacje pojawiły się w Szwajcarii, gdzie wskutek braku terenów płaskich rozbudowywano miasta na wzgórzach. Jednocześnie zmuszało to do pokonania trudności technicznych, otwierając drogę do szerokiego stosowania zabudowy tego typu. Do licznych zalet tego systemu należy zaliczyć przystosowanie zabudowy do każdego terenu, jej stosunkowo duże zagęszczenie osiągnięte przez przesunięcie

w pionie, tym samym rozległe widoki, optymalne nasłonecznienie, urządzenie tarasów na dachach domów sąsiednich.

Mieszkania w domach tarasowych zapewniają przestrzeń do odpoczynku, pracy i zabawy dla dzieci w naturalnym terenie, podobnie jak w domach jednorodzinnych z ogrodem. Do zabudowy tarasowej nadają się stoki o dużym nachyleniu. Kąt spiętrzenia zabudowy³ równy średniemu nachyleniu stoku powinien być nie mniejszy niż 8-40°. Tarasy są zorientowane zwykle na południe. Taras o głębokości co najmniej 3,20 m zapewnia swobodę patrzenia i chroni przed wglądem osób obcych.

Domy – wzgórze

Zalety dużych, odkrytych tarasów skłoniły do budowy domów tarasowych na płaskim terenie. Są one z reguły doświetlone z trzech lub z czterech stron, czasami składają się z sekcji trójkątnych. Jednostką jest mieszkanie z głębokim tarasem. Jeśli nie ma spadku naturalnego, wewnątrz piramidy podtrzymywane jest przez specjalną konstrukcję. Uzyskane w takich rozwiązaniach pomieszczenia w dolnych kondygnacjach są użytkowane jako przestrzenie wielofunkcyjne, np. na podjazdy, garaże, wejścia, komórki i miejsce na urządzenia techniczne. Różni się formy zabudowy z jednostronnym i wielostronnym układem tarasów. Tarasowe ukształtowanie zabudowy uzyskuje się przez spiętrzenie jednostek mieszkaniowych o tej samej głębokości, jak też przez nakładanie od góry jednostek o zwiększającej się głębokości. W ten sposób uzyskano jeszcze lepsze wykorzystanie terenu niż to dawała zabudowa tarasowa na spadku. Ten typ zabudowy najszerszej zastosowano we Francji.

Konieczna głębokość skrzynki balustrady zależy od wysokości kondygnacji i głębokości wcięcia, tak by uniemożliwić wgląd na niżej położony taras. Jeszcze korzystniejsze warunki pod tym względem uzyskuje się, gdy tarasy są częściowo wsunięte w korpus budynku⁴.

3. Formy budownictwa pod względem realizacji

Społeczne budownictwo czynszowe

Pośród różnych form budownictwa mieszkaniowego istotne miejsce zajmuje społeczne budownictwo czynszowe realizowane przez towarzystwa budownictwa społecznego. TBS-y to organizacje non profit, których głównym celem działalności jest budowa mieszkań czynszowych. Ich oferta skierowana jest do osób mniej zamożnych, których nie stać na kupno lub wynajmowanie mieszkania na wolnym rynku. TBS-y zyskały możliwość zaciągania preferencyjnych

³ Kąt spiętrzenia zabudowy jest to stosunek wysokości kondygnacji do głębokości tarasu.

⁴ Por. H. Adamczewska-Wejhert, *Kształtowanie zespołów mieszkaniowych*, Warszawa 1985.

kredytów z Krajowego Funduszu Mieszkaniowego⁵, dzięki którym mogą realizować budowę, odbudowę, rozbudowę, nadbudowę, przebudowę i modernizację budynków mieszkalnych oraz budynków adaptowanych na wynajem. TBS-y to organizacje działające w formie spółek z ograniczoną odpowiedzialnością lub spółek akcyjnych, których udziałowcami lub akcjonariuszami mogą być gminy, spółdzielnie mieszkaniowe, osoby prawne i fizyczne.

Projektując budynki w zakresie społecznego budownictwa czynszowego, należy szczególnie pamiętać o potrzebach osób niepełnosprawnych, starszych, samotnie wychowujących dzieci kobiet oraz dzieci. Na parterze powinno się przewidywać mieszkania bez barier. Budynki wielorodzinne – z uwagi na układ rzutu poziomego, liczbę mieszkań przypadającą na klatkę schodową i kondygnację oraz na dostępność powinny być rozplanowane przejrzysto. Górne granice powierzchni mieszkalnej są wg przepisów następujące:

1 pokój, kuchnia, inne pomieszczenia $\geq 35 \text{ m}^2 \leq 45 \text{ m}^2$,

2 pokoje, kuchnia, inne pomieszczenia $\leq 60 \text{ m}^2$ (65 m²),

3 pokoje, kuchnia, inne pomieszczenia $\leq 77 \text{ m}^2$ (82 m²),

4 pokoje, kuchnia, inne pomieszczenia $\leq 92 \text{ m}^2$ (97 m²),

5 pokoi, kuchnia, inne pomieszczenia $\leq 107 \text{ m}^2$.

Pokój dzienny powinien mieć powierzchnię nie mniejszą niż 18 m², z jadalnią 20 m². Jedzenia i spania nie powinno się planować w jednym pomieszczeniu.

W wyjątkowych wypadkach wielkość mieszkania może być przekroczona o maksymalnie 7 m², nadwyżka jednak nie będzie dotowana⁶.

Budownictwo indywidualne

Budownictwo indywidualne jest realizowane przez osoby fizyczne prowadzące działalność gospodarczą lub jej nieprowadzące, kościoły i związki wyznaniowe, z przeznaczeniem na użytek własny inwestora lub jego pracowników bądź na sprzedaż lub wynajem⁷.

Budownictwo dla pracowników firmy

Realizowane jest przez zakłady pracy sektora publicznego i prywatnego (bez budownictwa osób fizycznych prowadzących działalność gospodarczą, zaliczonego do budownictwa indywidualnego), z przeznaczeniem na zaspokojenie potrzeb mieszkaniowych pracowników tych zakładów.

⁵ Krajowy Fundusz Mieszkaniowy zajmuje się budowaniem mieszkań czynszowych o umiarkowanych czynszach.

⁶ Por. E. Neufert, op.cit.

⁷ Dane pochodzą ze strony internetowej Głównego Urzędu Statystycznego, www.stat.gov.pl.

Budownictwo spółdzielcze

Budownictwo spółdzielcze jest realizowane przez spółdzielnie mieszkaniowe, z przeznaczeniem dla osób będących członkami tych spółdzielni. Spółdzielnie mieszkaniowe mają możliwość zaciągania preferencyjnych kredytów z Krajowego Funduszu Mieszkaniowego.

Budownictwo komunalne

Ma głównie charakter socjalny, interwencyjny lub zaspokajający potrzeby mieszkaniowe gospodarstw domowych o niskich dochodach, realizowane jest w całości ze środków gminy.

Budownictwo przeznaczone na sprzedaż lub wynajem

Jest realizowane w celu osiągnięcia zysku przez różnych inwestorów, np. firmy developerskie⁸. Do tej formy budownictwa zalicza się również budownictwo towarzystw budownictwa społecznego, realizowane w celu osiągnięcia zysku z wynajmu lokali użytkowych lub z komercyjnej sprzedaży mieszkań z przeznaczeniem w całości na budowę domów czynszowych.

4. Orientacja przestrzenna budynków mieszkalnych

Usytuowanie pomieszczeń, zapewnienie nasłonecznienia

Sytuacja budynku na działce, poprzez orientację, układ przestrzenny i komunikację powinna zapewniać równomierne nasłonecznienie obiektu w ciągu całego dnia. Wszelkie pomieszczenia do stałego pobytu ludzi należy wystarczająco oświetlić światłem dziennym. Pomieszczenia mieszkalne i sypialne należy sytuować od ogrodu i po stronie nasłonecznionej budynku, natomiast gospodarcze od ulicy. Przepisy odnoszące się do tego problemu ujęto w odpowiednich normach. Na podstawie odpowiednich tabel nasłonecznienia można dokładnie ustalić, jakie pomieszczenia lub miejsca w pomieszczeniach w określonych porach dnia i roku powinny być bezpośrednio nasłonecznione, oraz jak należy sytuować budynek w stosunku do stron świata i sąsiednich budynków. Należy również uwzględnić główne kierunki przeważających wiatrów. Dla działek, w których sąsiedztwie istnieje już zabudowa od strony nasłonecznionej, zamierzony efekt można uzyskać przez odpowiednie usytuowanie i ukształtowanie budynku⁹.

⁸ Developer zajmuje się pozyskiwaniem środków na realizację budowy oraz kieruje jej realizacją.

⁹ Por. E. Neufert, op.cit.

Miejsce zamieszkania

Mieszkanie jest nierozzerwalnie związane z najbliższym otoczeniem, które często decyduje o jego wartości. Ogólnie jako „dobre otoczenie” uważane jest centrum starego miasta bądź spokojne dzielnice peryferyjne dobrze wyposażone w infrastrukturę. Często nie ma znaczenia wiek budynku, w którym znajduje się dane mieszkanie. Ważniejsze stają się inne niewymierne kulturowe wartości. Tak więc, miejsce zamieszkania staje się ważniejsze od samej tkanki mieszkalnej. Tylko dla najbiedniejszych perspektywa mieszkania w wielorodzinnym uprzemysłowionym budownictwie, w osiedlach jest jedyną alternatywą mieszkania, uniemożliwiającą często przyszły awans społeczny¹⁰.

Usytuowanie terenów mieszkaniowych

Pod zabudowę mieszkaniową najwłaściwsze są tereny w zachodniej lub południowej części miast, ponieważ wiatry wiejące najczęściej z zachodu lub południa przynoszą czyste, świeże powietrze z terenów wiejskich i wywiewają dymy oraz spaliny na północ i wschód. Dlatego też obszary położone na północy i wschodzie miast są raczej odpowiednie do zabudowy przemysłowej. Inaczej jest na terenach górzystych i nad jeziorami, gdzie słoneczne stoki południowe i wschodnie, usytuowane na północnych i zachodnich terenach miast położonych w kotlinach, są szczególnie korzystne pod zabudowę jednorodziną.

W przypadku działek położonych na stokach korzystne jest usytuowanie ich poniżej ulicy biegnącej wzdłuż stoku. Umożliwia to bezpośredni dojazd pod dom, a wody stoku spływają do kanalizacji ulicznej. Ogród może być tu położony na zacisznym, południowym stoku i otoczony sąsiednimi ogrodami. Przy usytuowaniu domu powyżej ulicy część ogrodu przy domu jest zacieniona. Za domem zazwyczaj konieczne jest wykonanie murów oporowych oraz rowów w celu odprowadzenia wód spływających ze stoku.

Nie należy budować domów bezpośrednio nad wodami rzek i jezior, ze względu na wilgotne mgły. Dobrze jest usytuowanie domu poniżej ulicy, z ogrodem ciągnącym się w kierunku rzeki lub jeziora.

Położenie domu w odniesieniu do ulicy

Najkorzystniejsze położenie budynku jest przy ulicy od strony południowej, ponieważ pomieszczenia pomocnicze oraz wejścia są usytuowane od północy i od ulicy. Wszystkie pomieszczenia mieszkalne i sypialne znajdują się wówczas w części nasłonecznionej i zacisznej, odizolowanej od ulicy, z wyjściem na ogród. Najczęściej działki są wąskie i głębokie, o możliwie krótkim froncie od ulicy. Jeśli działka jest szersza, to od strony nasłonecznionej i osłoniętej od wia-

¹⁰ Por. *Budownictwo mieszkaniowe w 2000 roku kierunki rozwoju i perspektywy rozwoju*, Politechnika Częstochowska, Konferencje 3, Częstochowa 1995.

tru należy umieścić w domach duże okna, tarasy i balkony. Na działce przylegającej do ulicy od północy budynek powinien być usytuowany w jej końcu, by wykorzystać nasłonecznioną część działki na ogród. Tego typu działki są odpowiednie dla obiektów reprezentacyjnych. Na terenach przylegających do ulic o kierunku północ-południe działki po wschodniej stronie ulicy są korzystniejsze, gdyż ogród i pokoje mieszkalne mogą być usytuowane od wschodu (ochrona przed wiatrem), a budynki sąsiednie nie zasłaniają promieni słonecznych. Aby zapewnić południowe nasłonecznienie w zimie, należy ustawić budynek możliwie blisko północnej granicy działki i przewidzieć tarasy od południowego wschodu. Działki leżące po zachodniej stronie ulicy należy zabudować możliwie na przemian, aby uzyskać południowe nasłonecznienie i swobodny widok z tarasów – w innych przypadkach należy ustawić budynek z tyłu działki¹¹.

5. Metody wznoszenia budynków

Według danych GUS¹² wyróżnia się następujące metody wznoszenia budynków:

- metoda tradycyjna udoskonalona – konstrukcją nośną są ściany wykonane z cegły, bloczków lub pustaków o ciężarze i wymiarach umożliwiających ich ręczne wbudowywanie,
- metoda wielkopłytowa – o ścianowej konstrukcji nośnej przegród pionowych, montowanych na miejscu budowy z wielkowymiarowych elementów prefabrykowanych betonowych lub żelbetowych. Wymiary elementów ściennych odpowiadają wysokości całej kondygnacji i mają szerokość co najmniej 2,40 m,
- metoda wielkoblokowa – o ścianowej konstrukcji nośnej przegród pionowych montowanych na miejscu budowy z prefabrykowanych betonowych i żelbetowych płyt lub bloków o wysokości całej kondygnacji i o szerokości mniejszej niż 2,40 m,
- metoda monolityczna – o ścianowej lub szkieletowej konstrukcji z betonu lub żelbetonu realizowanej na miejscu budowy, z zastosowaniem deskowań o jedno- lub wielokrotnym użyciu,
- metoda kanadyjska – oparta na konstrukcji szkieletu drewnianego na fundamencie betonowym.

Istniejące osiedla wykonywane do lat 90. ubiegłego stulecia, w ramach projektów powtarzalnych, realizowanych w technologiach uprzemysłowionych, mają współcześnie dużą konkurencję w nowych realizacjach. Odpowiedzią na potrzeby rynku i próbą sprostania współczesnym potrzebom użytkownika jest połączenie nowych technologii z umiejętnym projektowaniem. Ta konkurencja

¹¹ Por. E. Neufert, op.cit.

¹² Dane pochodzą ze strony internetowej Głównego Urzędu Statystycznego, www.stat.gov.pl.

zmusza do szerszego i bardziej zdecydowanego podjęcia działań inwestycyjnych w istniejących budynkach.

NOWADAYS RULES OF MULTIFAMILY BUILDINGS FORMING IN POLAND

S u m m a r y

Nowadays rules of shaping of multifamily buildings in Poland were discuss In paper. Nowadays residents needs were show. Potential of improvement on flats on the example of existing multifamily buildings was show.

Złożono w Oficynie Wydawniczej we wrześniu 2007 r.

Adam RYBKA
Artur OSTAFIJCZUK
Paulina NOWAK
Politechnika Rzeszowska

DZISIEJSZE TENDENCJE W PROJEKTOWANIU MIESZKAŃ W POLSCE

W artykule scharakteryzowano kierunki rozwoju i projektowania mieszkalnictwa. Przybliżono potrzeby współczesnego mieszkańca oraz wyłoniono czynniki związane z utrzymaniem budynków wielorodzinnych.

1. Wprowadzenie

Mieszkalnictwo to dobrze wyodrębniona grupa funkcjonalna architektury. Szczególnie dotyczy to zabudowy wielorodzinnej. Podlega ona nieustannym modelowym przemianom, rozwojowi, nawet modzie. Główne przemiany w mieszkalnictwie polegają na zmianach formy, postępie technicznym oraz podnoszeniu się standardu życia mieszkańców i na postępie socjalnym społeczeństw.

2. Modele mieszkań

Mieszkania od czasu, kiedy po rewolucji przemysłowej zaczęły stawać się dobrem masowym seryjnie produkowanym, podlegały ewolucji. W jej przebiegu w ciągu ostatnich dziesięcioleci można wyróżnić pewne okresy poglądów i odpowiadające im wzorce mieszkań. Główne czynniki wyróżniające schematy mieszkań różnych generacji to:

- wielkość (standard powierzchniowy),
- program (technologie zamieszkiwania),
- układ pomieszczeń,
- warunki ograniczające (normatywy),
- socjalne warunki zewnętrzne (model rodziny, ruchliwość mieszkańców, przepisy prawa lokalowego),
- postęp techniczny (fizyka budowli i materiały izolacyjne, ogrzewanie, wentylacja, oczyszczanie, specjalizacja wykonawstwa),

- indywidualne upodobania mieszkańców, decydujące o swobodzie projektowania i przekształcania struktury mieszkania¹.

Mieszkalnictwo podporządkowuje się stylom architektonicznym i wzorcom lokalnym. Różnice w schematach mieszkań pomiędzy regionami świata wynikają ze specyfiki klimatycznej w aspekcie chronologicznym i funkcjonalnym.

Można wyróżnić następujące modele mieszkań:

a) **Mieszkania mieszczańskie** – okres do około 1914 r.

Powierzchnie mieszkań były duże, o następujących pomieszczeniach: jedna łazienka, wc, pokoje i przedpokój, niekiedy pomieszczenie i schody dla służby, gabinet gospodarza. Miały układ amfiladowy, na ogół bez segregacji funkcji dziennych i nocnych. Charakteryzował je brak normatywów, często posiadały okna w łazienkach, wygodne, lecz niedoświetlone schody, ogrzewanie piecowe, niekiedy dobre przewietrzanie. Zamieszkiwane były przez liczną, często wielopokoleniową rodzinę oraz służbę.

b) **Mieszkania modernistyczne** – okres ok. 1915-1945 r.

Standardy powierzchniowe były umiarkowane, mieszkania zagospodarowane oszczędnie. Fascynacja nowymi możliwościami technicznymi spowodowała, że pojawiły się innowacje przestrzenne, takie jak galerie, dwupoziomowość. Dążono do rozkładowości pomieszczeń. Pokój dzienny stał się duży, schody wygodne, ogrzewanie centralne. Zaczęto stosować rygory wobec gabarytów pomieszczeń, troszczyć się o dobrą wentylację grawitacyjną. Mieszkania były dobrze naświetlone, a ich lokatorowie to rodziny jednopokoleniowe.

c) **Mieszkania minimalne, masowe** – okres ok. 1945-1975 r.

Bardzo małe standardy powierzchniowe: od 20 do 70 m², schemat rzutu był rozkładowy. Występujące pomieszczenia to: jedna łazienka na wprost wejścia, małe kuchnie (od 6 do 8 m²), bardzo ciasne przedpokoje, pokój dzienny z miejscem do spania, brak jadalni, a niekiedy również balkonów i loggi, deficyt powierzchni składowania. Wentylacja tylko w kuchniach i wc. Pojawiła się „wielka płyta”, budowano klatkowce, punktowce – często z niewygodnymi klatkami schodowymi, budynki wielokondygnacyjne, wielosegmentowe².

d) **Mieszkania postmodernistyczne** – okres od ok. 1970 r.

Pojawiły się układy „nisko-gęsto”. Zaczęto poszukiwać optymalnych standardów, powierzchnia mieszkań wahała się od 40 do 110 m². Pokój dzienny uwolniony został od funkcji spania, kuchnie stały się obszerne, wydzielono łazienki, czasem dwie, wyodrębniono wc. Pojawiły się: jadalnia, garderoba, składziki, spiżarnie, miejsce do prania, duże balkony. Charakterystyczna była duża przestrzeń zespołu: hol – pokój dzienny – kuchnia, dbałość o efekt wnętrza, troska o dzieci i osoby niepełnosprawne.

¹ Por. *Budownictwo mieszkaniowe w 2000 roku, kierunki rozwoju i perspektywy rozwoju*, Politechnika Częstochowska, Konferencje 3, Częstochowa 1995.

² Ibidem.

e) **Mieszkania „wartościowe”** – okres od około 1995 r.

Zmiany w organizacji życia rodzinnego powodują ewolucję roli poszczególnych pomieszczeń i zmian układu organizacji mieszkania. Zostały one uwolnione od ograniczających normatywów, zaistniała ogromna różnorodność wzorców, zatraciła się granica pomiędzy zabudową wielorodzinną i jednorodziną. Standard powierzchniowy ograniczają jedynie możliwości finansowe.

Podstawowe pomieszczenia w mieszkaniu

Przedpokój jest jednoprzestrzenny, najczęściej otwarty na pokój dzienny, obszerny. Często w części sypialnej znajduje się drugi hol. Charakterystyczny jest przestronny wgląd z przedpokoju na ogródek, taras, balkon.

Kuchnia przestaje być tylko miejscem do sporządzania posiłków, staje się większa, coraz częściej wyposażona w różnego rodzaju sprzęt gospodarczy dostosowany do dłuższego przebywania rodziny. Bardzo często otwarta na przedpokój i pokój dzienny, obudowana w kształcie litery L lub C, ewentualnie dwustronnie, niekiedy z wyjściem na balkon, obok znajduje się spiżarka.

Pokoje sypialne są zróżnicowane co do powierzchni, w zależności od tego czy są przeznaczone dla dwóch osób, czy dla jednej. Często są bezpośrednio związane z łazienką lub garderobą.

Łazienki wraz z towarzyszącymi pomieszczeniami, jak sauna, pomieszczenia rekreacyjne, sportowe stają się miejscem, w którym przyjemność przebywania zastępuje dotychczasową funkcję pomieszczenia intymnego, służącego jedynie do utrzymania higieny. Lokalizacją pomieszczeń sanitarnych jest często centrum rzutu mieszkania, co daje swobodę rozwiązań wariantowych. Niekiedy pojawiają się dwie łazienki, jedna z nich łączona z pokojem rodziców.

Pokój dzienny jest duży, z wydzielonymi strefami: jadalną, gościnną, telewizyjną i kominkową. Połączony z przedpokojem w całość przestrzenną, często również z przestrzenią zewnętrzną (tarasy, otwarcie na kuchnię). Wyposażony nie tylko w sprzęt telewizyjny, ale i inne urządzenia informatyczne umożliwiające pracę nie wymaga już zbyt intensywnego oświetlenia, może być wręcz niedoświetlony. Obecnie dają się zaobserwować tendencje zmiany organizacji powierzchni mieszkalnej. Jedna zakłada skupienie wszelkich środków wizjofonicznych w pokoju dziennym, druga rozproszenie wyposażenia po różnych pomieszczeniach z umieszczeniem terminalu w kuchni.

Pomieszczenia składowania są wyodrębnione, o względnie dużych powierzchniach.

Balkony to obecnie wygodne, bardzo duże konstrukcje podwieszane lub na odrębnym słupie. Nastąpił zmierzch loggii. Coraz bardziej intensyfikuje się ich funkcje jako jadalni, miejsca biernej i czynnej rekreacji, nawet pracy. Często istnieje możliwość ich sezonowej obudowy jako werandy przejmującej energię słoneczną.

3. Tendencje europejskie

W najbogatszych krajach zachodnich kwestię mieszkaniową uważa się dziś za rozwiązana. Twierdzi się, że dziś zasób mieszkań jest wystarczający pod względem ilościowym, przy czym są one trudno osiągalne dla najuboższych. Przewiduje się, że zmiany zapotrzebowania na mieszkania związane z procesami demograficznymi, trendami społeczno-gospodarczymi będą niewielkie. Ugruntowały się dogodne systemy kredytowania mieszkańców i producentów mieszkań. Rządy wielu krajów realizują planową politykę mieszkaniową, która uwzględnia nadwyżkę substancji mieszkaniowej na rynku, swobodę zakupu i sprzedaży, wymianę zasobów zużytych, rehabilitację, wartości architektoniczne, łatwość dostosowania się do wymagań indywidualnych.

Niestety, badania przeprowadzane w Polsce przewidują znaczne zestarzenie się społeczeństwa. Ludzi powyżej 60 lat będzie ponad 11,3 mln, powyżej 80 lat ponad 1 mln, podczas gdy w 1968 r. jedynie 13% osób miało więcej niż 65 lat. W 1986 roku ponad 72% kobiet w wieku 25 lat pracowało zawodowo i obserwowano stały wzrost tej tendencji. Zmieniał się model rodziny. Zwiększała się liczba osób stanu wolnego, rozwodów, zmniejszała liczba ślubów. Między 1962 a 1982 r. podwoiła się liczba osób żyjących samotnie, ale równolegle wzrosła liczba osób mieszkających razem bez zawarcia związku małżeńskiego. Młodzi ludzie mieszkali dłużej ze swoimi rodzicami, wzrósł zaś udział rodzin z dwójką dzieci w stosunku do rodzin wielodzietnych. Zdecydowanie wzrosła liczba rodzin niepełnych, w których dzieci mieszkały z ojcem lub matką lub na zmianę po tygodniu z jednym lub drugim rodzicem³.

Trendy w zmianach socjalno-społecznych obecnie się utrzymują, choć największe nasilenie tych zmian społeczeństwo francuskie oraz inne wysoko rozwinięte kraje europejskie mają już za sobą. Wspomniane zmiany kulturowe spowodowały wzrost zapotrzebowania na mieszkania nowego typu.

Poprawa standardu mieszkaniowego wynika z kondycji gospodarki, zamożności społeczeństwa oraz jego preferencji mieszkaniowych. Występuje ona zawsze z opóźnieniem w stosunku do ogólnego rozwoju ekonomicznego kraju. Staje się regułą, że w pierwszej kolejności zaspokajane są inne niż mieszkaniowe potrzeby ludzi⁴.

4. Organizacja przestrzeni, funkcjonalność mieszkania

Mieszkanie jest strukturą bardziej trwałą od jego wyposażenia, jest obszarem stabilizacji i trwałości. Dobre wyposażenie jest często zmieniane, nie dlatego że się zużyło technicznie, ale dlatego, że obecnie jest niemodne i brzydkie.

³ Dane pochodzą ze strony internetowej Głównego Urzędu Statystycznego, www.stat.gov.pl.

⁴ Por. *Budownictwo mieszkaniowe...*, op.cit.

Tendencje socjodemograficzne, antykreacyjne postawy społeczne, a co za tym idzie spadek urodzin, konsumpcyjny sposób życia, zwiększanie się liczby osób samotnych i rodzin niepełnych, skrócenie czasu pracy, możliwości pracy bez opuszczania domu, wszystko to powoduje ewolucję mieszkania. Obrazem tego są zmiany przestrzeni mieszkania przez modyfikację formy i struktury gospodarstwa domowego. Zmiany statusu kobiet, wzrost ich aktywności zawodowej powodują wprowadzenie do mieszkań nowego wyposażenia ułatwiającego prace domowe. Zmieniają się relacje rodzinne pomiędzy mężczyzną i kobietą, rodzicami i dziećmi. Zmiany te wymagają innego kształtowania przestrzeni wewnętrznej. Styl życia wpływa na formę mieszkania.

W Szwajcarii w końcu lat 70. poddawano kapitalnemu remontowi, przebudowie oraz wymianie wyposażenia około 10% mieszkań rocznie. W 1987 roku wskaźnik ten nie przekroczył 2%, z czego jedynie 1% dotyczył mieszkań starych, przedwojennych. Zakłada się, że trzeba będzie wybudować jedynie 10% mieszkań i tylko w tym małym obszarze rozpatruje się i prognozuje funkcje pomieszczeń, ich formę i kształt oraz organizację życia domowego. Przyczyny zmian organizacji przestrzeni życiowej wynikają w głównej mierze z różnego rodzaju przemian społecznych.

Mieszkanie jest wypełniane nowymi przedmiotami, o nieznanym wcześniej funkcjach modyfikujących relacje między zamieszkującymi je osobami. Informatyka i telekomunikacja znoszą granice między sferą prywatną a miejscem pracy. Rozpowszechnienie telefonów, komputerów, faksów, wideofonów powoduje, że praca coraz częściej odbywa się w przestrzeni życia domowego. Podział pomiędzy pracą a domem jako azylem, będący coraz częściej już tylko kategorią historyczną, jest jednak wciąż podstawą obecnej organizacji przestrzeni mieszkalnej. Ocena stopnia funkcjonalności przestrzeni mieszkalnej jest wprost proporcjonalna do pochodzenia społecznego ludzi, wykształcenia i ogólnej kultury. W zależności od kategorii socjozawodowej, snobizmu i obecnie panującej mody zmieniają się żądania dotyczące warunków, jakim powinny odpowiadać mieszkania. Socjostyl zmienia się przeciętnie co 3-4 lata, ale trwałość powstałych w tym okresie mieszkań jest znacznie dłuższa.

Badania prowadzone we Francji wykazały, że większość ludzi nie jest w stanie określić samodzielnie funkcjonalności mieszkania i poprawności rozwiązań architektonicznych. W ogólnej ocenie był doceniany całkowity metraż mieszkania przy pomijaniu niedogodności związanych z kuchnią – laboratorium, czy też łazienką o powierzchni 3 m² oraz złą izolacyjnością akustyczną pomieszczeń. Dotyczy to zwłaszcza ludzi nabywających swoje pierwsze mieszkanie oraz osób z niższych warstw społecznych.

Od lat 70. Francuzi i Holendrzy przekonali się, że lepiej nie wykańczać mieszkań, ale oddawać je w stanie surowym, bowiem przyszli użytkownicy i tak rozpoczynają eksploatację od przebudowy związanej z indywidualnym gustem. W Anglii i Niemczech sytuacja jest odwrotna. Tam zdecydowanie wyposaża

się mieszkania, często łącznie z meblami. Jest to kwestia innej mentalności społecznej.

5. Dzisiejsze kierunki rozwoju mieszkań

Obecnie zatarły się granice pomiędzy różnymi typami zabudowy. W domach wielorodzinnych wzrasta tendencja do dwupoziomowości, w jednorodzinnych brak tej tendencji. Obok układów klatkowych – segmentowych, stosowane są korytarzowe. Nastąpił częściowy nawrót do konstrukcji na ścianach podłużnych oraz konstrukcji mieszanych i szkieletowych. Duży nacisk jest stawiany na niebanalne formy architektoniczne.

Powierzchnia użytkowa wzrasta, waha się w granicach od 50 do 140 m², w ponad 50% od 65 do 110 m². Zarzucono odnośnienie wielkości mieszkania do liczby mieszkańców na rzecz liczby pokoi sypialnych.

Funkcje przestrzeni są wyraźnie określone, w tym oddzielanie stref użytkowania publicznego, zbiorowego, gościnnie-ogólnorodzinnego, intymnego. Występują przestrzenne zespoły wzajemnie otwartych wewnątrz przedpokoju – pokoju dziennego – kuchni – jadalni, nawet sypialni rodziców. Unika się wąskich korytarzy, w przestrzeni dziennej nie ma miejsca do spania. Utrzymuje się zasada segregacji funkcji, choć czasem traktowana jest ona z dużą dowolnością.

Pranie i suszenie definitywnie przeniesione zostały poza obręb mieszkania, do lokalizowanych w piwnicach wyspecjalizowanych pomieszczeń wspólnego użytkowania mieszkańców.

Dzięki najnowszym rozwiązaniom technicznym możliwość kształtowania i przekształcania rzutów została znacznie powiększona. Dotyczy to swobody rozwiązania ogrzewania, wentylacji, oświetlenia, przewietrzania, zrzutu zanieczyszczeń i odpadków.

Nastąpił wzrost rangi pomieszczeń pomocniczych. Kuchnia – laboratorium weszła w obręb pokoju dziennego, wzbogacił się program łazienek i ich gabaryty, zaistniały pomieszczenia magazynowe z dalszą tendencją ich wzrostu.

Względy rynkowe i prestiżowe powodują wzmożenie wysiłków w dziedzinie maksymalizacji wartości użytkowych i architektonicznych mieszkań i domów.

6. Rola państwa na rynku mieszkaniowym

„Mieszkanie jest dobrem szczególnym. Z jednej strony jest towarem poddanym prawom rynku, z drugiej – dobrem o charakterze społecznym, którego zapewnienie obywatelom jest obowiązkiem władz. Jednym słowem, nie może się tu obyć bez odpowiedniej polityki mieszkaniowej i to zarówno na szczeblu centralnym, jak i lokalnym”⁵.

⁵ „Wspólnota Mieszkaniowa”, lipiec 2002.

Potrzeba mieszkaniowa jest jedną z podstawowych potrzeb każdego człowieka, a jej zaspokojenie stoi w sprzeczności z możliwościami potrzebujących, co wynika z faktu, że mieszkanie jest droгим dobrem. Dlatego państwo powinno pomagać obywatelom na rynku nieruchomości tak, aby zwiększyć dostępność mieszkań. Polityka mieszkaniowa powinna oddziaływać zarówno na popyt, jak i podaż mieszkań. Systemy wspomagania mieszkalnictwa stosowane są przez wszystkie kraje prowadzące świadomą i dalekowzroczną politykę mieszkaniową, bowiem jak wskazuje praktyka, mechanizmy rynkowe bez interwencji państwa nie są w stanie rozwiązać problemu dostępności mieszkania, a tym samym zapewnić stabilnych podstaw zrównoważonego rozwoju gospodarczego.

O rozwoju budownictwa mieszkaniowego decydują w największym stopniu trzy siły, z których każda zależy od jakości polityki gospodarczej. Pierwszą jest systematyczny wzrost realnych dochodów ludzi, dzięki temu mieszkania stają się coraz bardziej dostępne. Drugą siłą jest obniżenie kosztów projektowania i budowy mieszkań, trzecią obniżenie oprocentowania kredytów.

Pośród różnych form budownictwa mieszkaniowego istotne miejsce zajmuje społeczne budownictwo czynszowe z mieszkaniami wynajmowanymi za umiarkowane czynsze tym, którzy z różnych względów nie mogą pozwolić sobie na mieszkania czy domy o charakterze własnościowym. Aby budownictwo to mogło się rozwinąć, konieczne jest zapewnienie długoterminowych kredytów, umożliwiających sfinansowanie budowy, a następnie spłacenie kredytu ze środków pozyskiwanych w ramach czynszów. Zadania te spełnia Krajowy Fundusz Mieszkalnictwa, którego zadaniem jest udzielanie ze środków budżetowych długoterminowych, subsydiowanych kredytów. Mogą z nich korzystać towarzystwa budownictwa społecznego i spółdzielnie mieszkaniowe. Fundusz oferuje także kredyty dla gmin na sfinansowanie infrastruktury komunalnej, związanej z budownictwem mieszkaniowym, a także na modernizację kotłowni osiedlowych i miejskich. Krajowy Fundusz Mieszkalnictwa został utworzony na mocy ustawy o niektórych formach popierania budownictwa mieszkaniowego⁶.

Według danych z raportu Housing Statistic In the European Union 2004 autorstwa National Board of Housing, Building and Planning i Ministry of Regional Development of the Czech Republic Polska zajmuje ostatnie miejsce w Unii Europejskiej pod względem liczby mieszkań przypadających na 1000 osób. U nas jest to 330 lokali, podczas gdy przeciętnie – 400÷420. W obliczu tej i wielu innych statystyk klasyfikujących Polskę na końcu list, z wyjątkiem tabel przedstawiających wzrost czynszu (tutaj w latach 1995-2003 Polska osiągnęła rekord Europy), poprawa polityki mieszkaniowej państwa staje się jednym z ważniejszych tematów dla nowo wybranego rządu. Celem powinno być przede wszystkim stworzenie konsekwentnego i długotrwałego planu rozwoju mieszkalnictwa w Polsce⁷.

⁶ Dz.U. Nr 133, poz. 654 z późniejszymi zmianami.

⁷ Dane pochodzą z miesięcznika „Architektura”, listopad 2005.

7. Zasoby mieszkaniowe i ich rozwój

Według danych GUS⁸ w 2005 r. oddano do użytkowania 114060 mieszkań, tj. o 5943 (o 5,5%) więcej niż w 2004 r. (tab. 1.). Wzrosła liczba mieszkań oddanych do użytkowania w budownictwie przeznaczonym na sprzedaż lub wynajem (o 8825 mieszkań) oraz komunalnym (o 1784). Mniej mieszkań oddano do użytkowania w budownictwie społecznym czynszowym (o 1785), indywidualnym (o 1582), spółdzielczym (o 1221) oraz zakładowym (o 78).

Przeciętna powierzchnia użytkowa jednego mieszkania oddanego do użytkowania w 2005 r. wyniosła 105,3 m² i była mniejsza o 2,2 m² w stosunku do 2004 r. W budownictwie indywidualnym wyniosła ona 142,5 m², a w budownictwie spółdzielczym 56,4 m² (odpowiednio o 2,0 m² więcej i o 1,9 m² mniej niż w 2004 r.).

Tabela 1. Mieszkania oddane do użytkowania według form budownictwa

Wyszczególnienie a – w liczbach bezwzględnych b – I-IV kwartał 2004 r. = 100	Mieszkania	Powierzchnia użytkowa mieszkań w m ²	Przeciętna powierzchnia użytkowa 1 mieszkania w m ²	
OGÓLEM	a	11400,60	12013078	105,3
	b	105,5	103,4	98,0
Budownictwo:				
Indywidualne	a	63276	0918505	142,5
	b	97,6	98,9	101,4
Przeznaczone na wynajem lub sprzedaż	a	33055	2067699	142,5
	b	136,4	140,0	101,4
Spółdzielcze	a	8211	463419	56,4
	b	87,1	84,3	96,7
Społeczne czynszowe	a	5421	271016	50,1
	b	75,2	75,8	100,8
Komunalne	a	3563	157295	44,1
	b	200,3	190,7	95,0
Zakładowe	a	543	35144	64,7
	b	87,4	89,7	102,5

Opracowano na podstawie danych ze strony internetowej GUS.

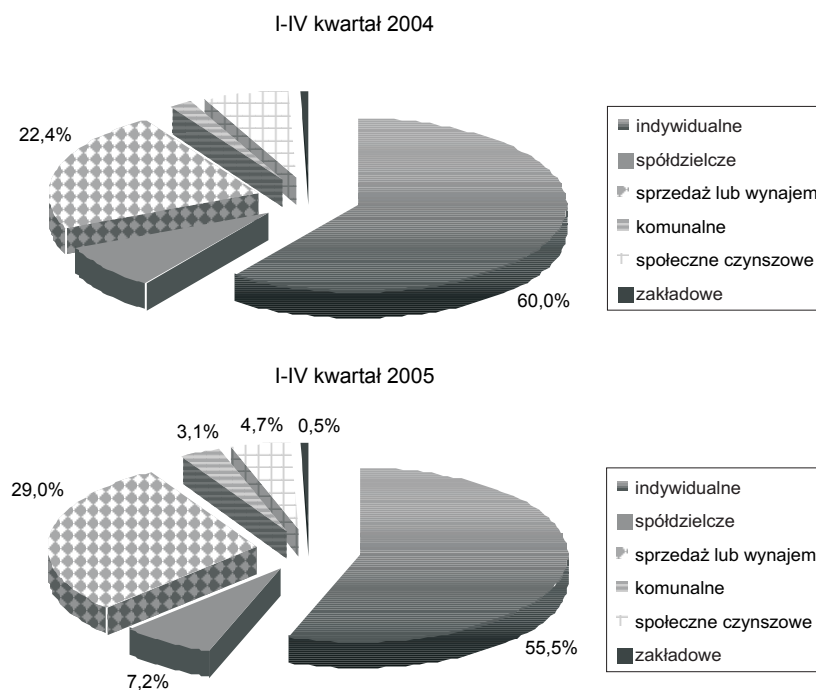
W 2005 roku przekazano do użytkowania 58147 nowych budynków mieszkalnych o łącznej kubaturze 55854,2 m³. Dane o tych budynkach prezentuje tab. 2. Inwestorzy indywidualni zrealizowali 55477 nowych budynków, podobnie jak w 2004 r. (56175 budynków). Ich udział w ogólnej liczbie nowych budynków mieszkalnych oddanych do użytkowania wyniósł 95,4%.

⁸ Dane pochodzą ze strony internetowej Głównego Urzędu Statystycznego, www.stat.gov.pl.

Tabela 2. Nowe budynki mieszkalne oddane do użytkowania według form budownictwa

Wyszczególnienie	Liczba budynków	Liczba mieszkań	Liczba izb	Powierzchnia użytkowa mieszkań w m ²	
				razem	średnia 1 mieszkania
OGÓLEM	58147	105521	471571	11394961	108,0
Miasta	25960	70819	276989	6556225	92,6
Wieś	32187	34702	194582	4338736	139,4
Budownictwo					
Przeznaczone na sprzedaż lub wynajem	2002	31200	90579	1968080	63,1
Spółdzielcze	384	7450	22078	424095	56,9
Spółdzielcze	131	5065	141999	256571	50,7
Spółeczne czynszowe	94	2031	4992	92337	45,5
Komunalne	59	419	1472	26222	62,6
Zakładowe	-	-	-	-	-

Opracowano na podstawie danych ze strony internetowej GUS.



Rys. 1. Udział poszczególnych form budownictwa w ogólnej liczbie mieszkań oddanych do użytkowania

Opracowano na podstawie danych ze strony internetowej GUS.

Poza budownictwem indywidualnym w 2005 r. zrealizowano 2670 nowych budynków mieszkalnych (wobec 2374 budynków w 2004 r.). Ich udział w ogólnej liczbie nowych budynków mieszkalnych oddanych do użytkowania wyniósł 4,6% (rys. 1.).

Zróżnicowanie efektów budownictwa mieszkaniowego w zależności od grupy realizujących je inwestorów znajduje swoje odzwierciedlenie w ich szczególnej charakterystyce. Inwestorzy indywidualni realizowali głównie budynki dwukondygnacyjne. Mieszkania w tych budynkach stanowiły 67,2% ogólnej liczby mieszkań oddanych do użytkowania przez tę grupę inwestorów w nowych budynkach mieszkalnych.

Wśród nowych budynków mieszkalnych wykonanych przez inwestorów innych niż indywidualni dominowały pod względem kubatury budynki mieszkalne czterokondygnacyjne, trzykondygnacyjne oraz pięciokondygnacyjne. Realizowane były głównie budynki o trzech i większej liczbie mieszkań (94,3% kubatury budynków oddanych do użytkowania przez tę grupę inwestorów). Mieszkania w tych budynkach stanowiły 97,2% ogólnej liczby mieszkań w nowych budynkach mieszkalnych wybudowanych w budownictwie innym niż indywidualne (tab. 3.).

Tabela 3. Nowe budynki mieszkalne oddane do użytkowania według liczby kondygnacji i liczby mieszkań

Wyszczególnienie a – indywidualne b – inne niż indywidualne	Liczba budynków	Liczba mieszkań	Liczba izb	Powierzchnia użytkowa mieszkań w m ²	
				razem	przeciętna 1 mieszkania
OGÓŁEM					
a	55477	59356	3338251	8627656	145,4
b	2670	46165	133320	2767305	59,9
1-kondygnacyjne					
a	13639	13737	68549	1646521	119,9
b	194	495	1609	33924	68,5
2-kondygnacyjne					
a	38912	39900	240805	6226347	156,0
b	1097	2387	9726	234862	98,4
3-kondygnacyjne					
a	2723	3496	21561	606037	173,4
b	465	5647	16836	343517	60,8
4-kondygnacyjne					
a	182	1518	5107	111470	73,4
b	601	18969	55037	1052098	55,5
5-kondygnacyjne					
a	20	684	2146	35474	51,9
b	163	6123	17284	345588	56,4
6-kondygnacyjne					
a	47	2703	7403	171448	63,4
7-kondygnacyjne					
b	36	2962	7948	171894	58,0
8-kondygnacyjne					
b	33	2938	7655	186605	63,5
9-kondygnacyjne					
a	1	21	83	1807	86,0
b	14	1400	3541	88836	63,5
10-kondygnacyjne i większe					
b	20	2541	6281	138533	54,5

Opracowano na podstawie danych ze strony internetowej GUS.

Poza wznoszeniem nowych budynków mieszkalnych, przyrost kubatury uzyskano także w budynkach już istniejących. W wyniku rozbudowy ich kubatura zwiększyła się o 818892 m³, liczba mieszkań o 1823, liczba izb o 7068 oraz powierzchnia użytkowa mieszkań o 181214 m².

W 2005 roku rozpoczęto budowę 102038 mieszkań, tj. o 4800 mieszkań (o 4,9%) więcej niż w 2004 r. Wzrost liczby rozpoczynanych mieszkań odnotowano w budownictwie realizowanym na sprzedaż lub wynajem, komunalnym, spółdzielczym oraz społecznym czynszowym. Spadek liczby rozpoczynanych mieszkań odnotowano natomiast w budownictwie indywidualnym i zakładowym. Szacuje się, że w końcu grudnia 2005 r. w budowie było 595 tys. mieszkań, tj. o 2,0% mniej niż w grudniu 2004 r.

W 2005 roku wydano pozwolenia na budowę 115862 mieszkań, wobec 105831 mieszkań w 2004 r.

8. Zakończenie

W Polsce jest obecnie około 12 mln mieszkań. Statystycznie w każdym powinny mieszkać ponad trzy osoby. Niemniej, według oficjalnych szacunków nadal brakuje od 1,5 do 2 mln lokali. Około miliona mieszkań znajduje się w budynkach przeznaczonych do wyburzenia. Skalę niedoborów potęguje to, że część budynków powojennych wymaga kapitalnych remontów.

Starając się wyłonić czynniki wynikające z istniejącej problematyki, stanu zachowania obiektów i konieczności związanych ze stale zmieniającymi się potrzebami użytkowników, wyodrębnić można następujące grupy problemów:

- urbanistyczne, tj. odległości pomiędzy obiektami, sposób użytkowania przestrzeni pomiędzyblokowych, zależności wysokościowe pomiędzy budynkami,
- architektoniczne, tj. ukształtowanie elewacji, sposób organizacji przestrzeni mieszkalnych, możliwość dostępu dla osób niepełnosprawnych, oddziaływania na użytkownika,
- technologiczne, tj. istniejące układy konstrukcyjne, najczęściej występujące uszkodzenia związane z błędami technologicznymi i użytkowymi.

Podstawowymi elementami poprawy stanu technicznego budynków na Podkarpaciu są metody zmierzające do zmniejszenia zapotrzebowania na energię. Wśród nich można wymienić:

- ocieplenie ścian zewnętrznych warstwą izolacji termicznej,
- wymiana zewnętrznej stolarki okiennej i drzwiowej,
- zmniejszenie otworów okiennych w klatkach schodowych,
- ocieplenie dachu wraz ze zmianą pokrycia dachowego,
- remont uszkodzonych okładzin elementów konstrukcyjnych.

Analizując podobną problematykę w krajach Europy zachodniej, można zauważyć szersze podejście do problemu, związane z większymi nakładami

finansowymi na inwestycję. Sposób zmian wyglądu zewnętrznego może nieść ze sobą poprawę układów przestrzennych mieszkań z dostosowaniem ich do współczesnych potrzeb użytkowników.

NOWADAYS TENDENCIES OF MODELLING OF MULTIFAMILY BUILDING IN POLAND

S u m m a r y

In paper characterize nowadays rules of modelling of multifamily buildings in Poland. Approximate today inhabitant demands. Factors maintenance multifamily buildings ware take to consideration.

Złożono w Oficynie Wydawniczej we wrześniu 2007 r.

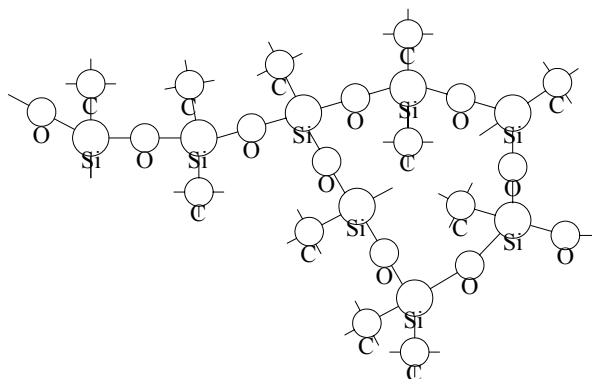
Justyna ZAMORSKA
Dorota PAPCIAK
Politechnika Rzeszowska

BADANIA MIKROBIOLOGICZNE ODPORNOŚCI MATERIAŁÓW SILIKONOWYCH STOSOWANYCH W BUDOWNICTWIE

W artykule przedstawiono wyniki badań właściwości grzybobójczych czterech popularnych mas silikonowych stosowanych w instalacjach sanitarnych. Badanie odporności na działanie grzybów zostało przeprowadzone wg PN-85/C-89080. W badaniach wykorzystano drobnoustroje wyizolowane z powietrza atmosferycznego i z próbek zakażonego silikonu. Na podstawie obserwacji mikro- i makroskopowych stwierdzono, że najbardziej odporny na działanie grzybów jest silikon uniwersalny Soudal.

1. Wprowadzenie

Silikony to syntetyczne materiały polimerowe, których zasadniczym składnikiem są wielkocząsteczkowe związki krzemooorganiczne. Szkielet siloksanowy masy zbudowany jest z atomów krzemu powiązanych atomami tlenu w taki sposób, w jaki powiązane są one w krzemianach nieorganicznych. Dodatkowo wiązanie krzemu z węglem umożliwia przyłączanie różnych grup organicznych (rys. 1.) [1].



Rys. 1. Schemat struktury polimerów silikonowych
Opracowano na podstawie pracy [1].

Niektóre silikony mają specjalne właściwości. Aby mogły je uzyskać, do mas dodaje się przykładowo wypełniacze, rozpuszczalniki, wodę czy emulgato-

ry. Umożliwiło to wyspecjalizowanie silikonów na oleje silikonowe, emulsje, pasty i smary, kauczuki silikonowe, żywice silikonowe, silikonowy specjalne. Nazwą silikonów obejmuje się również inne związki krzemorganiczne [1].

Bardzo szeroki zakres stosowania mas silikonowych w budownictwie i inżynierii sanitarnej spowodował gwałtowny rozwój w zakresie ich jakości i liczby dostępnych rodzajów. Silikony są obecnie najczęściej używanymi na rynku środkami uszczelniającymi, a ich różnorodność pozwala na bardzo szerokie zastosowanie [1]. Swoją popularność zawdzięczają elastyczności tworzonych połączeń, odporności na wodę, promieniowanie UV, starzenie się i zmienną temperaturę, łatwości użycia i niskiemu kosztowi. Nie są to jednak materiały doskonałe, niejednokrotnie reklamująca je etykieta wydaje się być przyklejoną przypadkowo do niewłaściwego produktu [1].

Popyt na silikonów nie omija gamy mas sanitarnych. Silikony takie charakteryzują się m.in. odpornością na grzyby. Zwiększona zawartość wilgoci w powietrzu oraz temperatura 20÷30°C, czyli typowa aura „łazienkowa”, to idealne warunki rozwoju dla pleśni. Brak odporności mikrobiologicznej produktu zastosowanego w tym pomieszczeniu może mieć fatalne skutki dla użytkownika [2].

Pomimo faktu, że na silikonach stosowanych w instalacjach sanitarnych znajduje się informacja o właściwościach grzybobójczych, niekoniecznie jest to zgodne z prawdą. Zdarzają się producenci umieszczający taką informację zupełnie bezpodstawnie. Warto sprawdzić, czy masa do uszczelnienia łazienki jest odporna na grzyby. Pomoc w tym może przedstawiona praca, w której znajduje się opis zachowania czterech silikonów sanitarnych wystawionych na działanie pleśni. Celem badań była weryfikacja informacji o właściwościach grzybobójczych wybranych materiałów stosowanych w instalacjach sanitarnych.

2. Metodyka badań

Badanie odporności silikonów na działanie grzybów zostało przeprowadzone wg PN-85/C-89080: *Oznaczenie odporności na działanie grzybów pleśniowych* [3]. Norma pozostawia możliwość wyboru jednej z podanych w niej metod postępowania. Metoda pierwsza (A) bada, czy tworzywo poddane próbie jest źródłem pożywienia dla grzybów pleśniowych, metoda druga (B) ustala, czy tworzywo ulega zakażeniu w obecności innych źródeł pożywienia, co pozwala sprawdzić grzybobójcze właściwości materiału. W wykonanym badaniu wykorzystano metodę drugą (B), polegającą na przetrzymywaniu próbek badanego tworzywa zaszczerpionego sporami grzybów pleśniowych w optymalnych dla ich rozwoju warunkach, w celu określenia grzybobójczych właściwości tworzywa.

Do badań odporności na korozję wywoływaną przez grzyby wybrano cztery masy silikonowe:

- silikon uniwersalny Tytan,
- silikon sanitarny Tytan,
- silikon sanitarny Soudal,
- silikon uniwersalny Soudal.

W przeprowadzonych badaniach wykorzystano drobnoustroje pozyskane z powietrza atmosferycznego i z próbek zakażonego silikonu. Grzyby z powietrza po kilkutygodniowym wzroście zostały wyizolowane i przeszczepione na pożywkę dla grzybów. Przynależność rodzajową i gatunkową oceniono, używając mikroskopu optycznego przy powiększeniu 100 razy [4]. Wyizolowano i stosowano do badań następujące pleśnie:

- *Trichoderma viridae*,
- *Alternaria alternata*,
- *Mucor spp.*,
- *Rhizopus spp.*,
- *Aspergillus niger*.

Zaszczepienie drobnoustrojów na silikonach

Po trzech tygodniach rozwoju w cieplarni, próbki zawierające pleśnie zostały napełnione roztworem soli. Roztwór odwirowano w wirówce laboratoryjnej. Tak spreparowanej zawiesiny mikroorganizmów użyto do zaszczepienia próbek silikonów. Próbki silikonów umiejscowione zostały w 24 płytkach Petriego na podłożu Czapek-Doxa do rozwoju grzybów, sporządzonym wg normy [3]. Do zainfekowania każdej z próbek zużyto 1 ml zawiesiny.

Obserwacje makroskopowe

Badaniem objęto cztery rodzaje silikonów zakażonych 5 grzybami pleśniowymi. Badanie prowadzono w dwóch etapach:

- I etap – trwający 34 dni,
- II etap – trwający 33 dni (powtórne zainfekowanie silikonów mikroorganizmami).

Po zakażeniu silikonów drobnoustrojami hodowlę umieszczono w cieplarni laboratoryjnej w temperaturze 26°C. W trakcie badań dwa razy w tygodniu spryskiwano próbki roztworem soli w celu zapewnienia mikroorganizmom koniecznej wilgotności.

Jako skalę oceny odporności silikonów wykorzystano tab. 1. i 2.

Tabela 1. Oznaczenie odporności na działanie grzybów pleśniowych

Skala ocen	Wyniki badań
0	brak widocznego pod mikroskopem wzrostu grzybów na próbce
0*	brak widocznego pod mikroskopem wzrostu grzybów na próbce, strefa zahamowania wzrostu grzybów wokół próbki (wymiary) widoczna pod mikroskopem
1	wzrost grzybów na próbce słabo widoczny nieuzbrojonym okiem, ale dobrze widoczny pod mikroskopem
2	wzrost grzybów na próbce widoczny nieuzbrojonym okiem, ale mniej niż 25% powierzchni pokrytej grzybem (słaby wzrost grzybów)
3	wzrost grzybów na próbce widoczny nieuzbrojonym okiem i 25÷50% powierzchni pokrytej grzybem (średni wzrost grzybów)
4	wzrost grzybów na próbce widoczny nieuzbrojonym okiem i ponad 50%, ale mniej niż 100% powierzchni pokrytej grzybem
5	silny wzrost grzybów na całej powierzchni widoczny nieuzbrojonym okiem

Opracowano na podstawie normy [3].

Tabela 2. Klasyfikacja tworzyw wg odporności na działanie grzybów

Ocena wzrostu grzybów wg skali ocen	Klasyfikacja tworzyw wg odporności na działanie grzybów pleśniowych
0, 0*	klasa 1 – odporne
1÷5	klasa 2 – praktycznie odporne
	klasa 3 – nieodporne

Opracowano na podstawie normy [3].

3. Wyniki badań odporności mikrobiologicznej silikonów

Silikon uniwersalny Tytan

Silikon uniwersalny Tytan okazał się być odpornym na działanie pleśni *Trichoderma viridae*. Przez cały okres badań nie zaobserwowano na silikonie rozwoju żadnego mikroorganizmu.

W przypadku zakażenia *Alternaria alternata* od 14. dnia badania obserwowano rozwój pleśni – 18. dnia grzyb znalazł się w bezpośrednim kontakcie z próbką silikonu. W dalszym ciągu doświadczenia pleśń rozrastała się na pożywce, stykając się z silikonem, ale nie rosnąc na nim. Od 25. dnia hodowli nastąpił gwałtowny rozwój bakterii. Bakterie umiejscowiły się na silikonie, rosnąc od miejsca jego styku z pożywką w górę, „wspinając się” po nim, i tym samym stanowiąc podłoże dla pleśni. Grzyb porósł warstwę bakterii, ale nie rozwinął się bezpośrednio na silikonie.

Pleśń *Mucor spp.* rozpoczęła swój rozwój na pożywce od 14. dnia doświadczenia. Już 4 dni później grzyb porósł około 1/3 płytki Petriego, a 20. dnia pro-

wadzenia obserwacji grzyb zaczął wrosnąć w silikon. Kolejnych 6 dni wystarczyło, aby pleśń pokryła 40% powierzchni próbki silikonu, a do 32. dnia badania było to już ok. 75%. Powtórna infekcja zarodnikami spowodowała mechaniczne usunięcie pleśni z silikonu. W 7. dniu II etapu badań grzyb znowu zaatakował, zarastając 10% powierzchni próbki. Taki stan obserwowano do końca badania. Brak dalszego rozwoju mógł być spowodowany pojawieniem się w 12. dniu powtórnej infekcji bakterii. Najprawdopodobniej grzyb nie wytrzymał konkurencji o pożywkę.

Grzyb *Rhizopus spp.* nie rozwinął się w ciągu 67 dni eksperymentu, pomimo dwukrotnego zaszczepienia jego zarodników na silikonie.

Od 4. dnia prowadzonych obserwacji po zakażeniu *Aspergillus niger* nastąpił rozwój pleśni i bakterii od obrzeży płytki – 18. dnia badania było wyraźnie widać pleśń „wchodzącą” na silikon. Jednak do końca I etapu biała pleśń zajęła bardzo niewielką powierzchnię próbki. Od 27. dnia badań bardzo gwałtownie rozwijały się bakterie, hamując wzrost pleśni. Powtórna infekcja zarodnikami spowodowała intensywny rozwój pleśni, które zdominowały widoczne wcześniej kolonie bakterii – 7. dnia II etapu grzyb zajmował około 5% powierzchni próbki silikonu, ale znowu zaobserwowano intensywniejszy rozwój kolonii bakterii (fot. 1.)^{*}.



Fot. 1. Silikon uniwersalny Tytan pod działaniem pleśni *Aspergillus niger*

Silikon uniwersalny Soudal

Silikon uniwersalny Soudal całkowicie uniemożliwił pojawienie się i jakiegokolwiek rozwój użytych do badania pleśni *Trichoderma viridae*, *Alternaria alternata*, *Mucor spp.*, *Rhizopus spp.* Jedynie *Aspergillus niger* porósł 1/3 powierzchni płytki – w miejscach, gdzie pleśń zetknęła się z próbką silikonu, widoczne było zahamowanie jego dalszego rozwoju. Do końca badania grzyb roz-

^{*} Autorką fotografii zamieszczonych w artykule jest J. Zamorska.

rosła się na pożywce, ale silikon nie był dla niego dobrym podłożem. Pleśń nie rozwijała się na próbce.

Silikon sanitarny Soudal

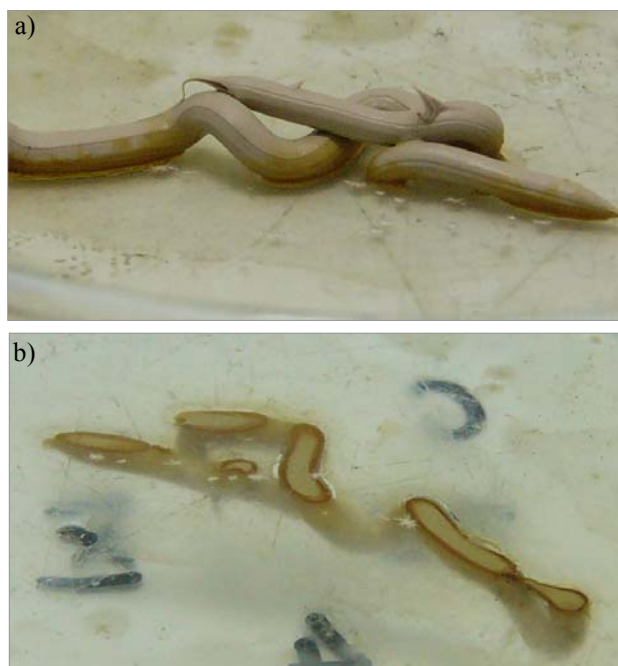
Pleśń *Trichoderma viridae* rozpoczęła wzrost na pożywce w 7. dniu badania, 19. dnia na płytce zaobserwowano trzy skupiska pleśni na pożywce, z dala od silikonu, oraz początkowy rozwój bakterii. Podczas całego eksperymentu grzyb nie zaatakował próbki silikonu. Rozrosła się za to kolonia bakterii w kolorze żółtym na styku pożywki z silikonem (fot. 2.). Wraz ze starzeniem się kolonii bakterie stawały się coraz ciemniejsze, aż uzyskały kolor mocno pomarańczowy. Po otwarciu płytki czuć było nieprzyjemny zapach.



Fot. 2. Silikon sanitarny Soudal pod działaniem pleśni *Trichoderma viridae*

Podobnie jak we wcześniej opisanej obserwacji *Alternaria alternata* pojawiła się 7. dnia badania na pożywce w pewnej odległości od próbki. Do 18. dnia jej rozwój utrzymał się w pewnym dystansie od silikonu, a 18. dnia doświadczenia zaobserwowano, że pleśń z jednej strony zaczyna wrastać w próbkę. Grzyb rozwijał się na silikonie bardzo powoli, zmieniając jego barwę w miejscach wzrostu grzyba. Dodatkowo na granicy pożywki i silikonu rozwijały się żółte kolonie bakterii.

Już od 4. dnia zarówno zaszczerpiona pleśń, jak i bakterie rozwijały się na pożywce, 14. dnia I etapu pleśń zaatakowała silikon, a 18. dnia na pożywce pojawił się drugi rodzaj grzyba *Mucor spp.* (fot. 3a,b). Do 20. dnia badań cała pożywka pokryła się strzępkami pleśni. Od 25. dnia obserwacji konkurencję o miejsce na silikonie zaczęły stopniowo wygrywać charakterystyczne dla silikonu sanitarnego Soudal kolonie żółtych bakterii, „wspinające się” po nim w górę. Do 27. dnia grzyb zdołał zająć bardzo małą powierzchnię próbki i pomimo powtórnego zainfekowania nie przyrastał w II etapie badania. Kolonie bakterii z upływem czasu zaczęły stopniowo ciemnieć, a po otwarciu płytki czuć było nieprzyjemny zapach.



Fot. 3. Silikon sanitarny Soudal pod działaniem pleśni *Mucor spp.*

Pleśń *Rhizopus spp.* w czasie całej obserwacji wykorzystała do wzrostu przygotowaną pożywkę, jej strzępki rozrosły się po całej płytce, ale nie wrosły w silikon. Żółte kolonie bakterii podobnie jak grzyb pojawiły się już 4. dnia obserwacji i tak jak w innych przypadkach zaszczepiania silikonu sanitarnego Soudal kolonia porosła kilka milimetrów „w górę” próbki.

Od początku obserwacji na pożywce rozwijała się pleśń *Aspergillus niger* i charakterystyczne kolonie żółtych bakterii. Do 32. dnia I etapu badań grzyb zdołał pokryć całą płytkę, za wyjątkiem silikonu, a od 34. dnia zaobserwowano niewielki wzrost pleśni na próbce. Zarodniki umiejscowione były na powierzchni silikonu, ale rozwój rozpoczęły tylko w jednym miejscu. Do końca obserwacji powierzchnia ta nie przekroczyła ok. 10%.

Silikon sanitarny Tytan

Silikon sanitarny Tytan okazał się być odpornym na działanie pleśni *Trichoderma viridae*. Grzyb pojawił się na pożywce dopiero 18. dnia badania, a w czasie prowadzenia całej obserwacji nie zbliżył się do próbki bliżej niż na 35 mm. Na styku silikonu z pożywką rozwinęły się kolonie bakterii.

Na płytce z zainfekowanym *Alternaria alternata* silikonem do 18. dnia prowadzenia hodowli rozwinęło się sześć skupisk pleśni, z których żadna nie znajdowała się w bezpośrednim kontakcie z próbką. Od 20. dnia I etapu strzępki grzyba stykały się z próbką, a miejsca styku bezbarwnego silikonu pożółkły. Do końca badania nie zaobserwowano pleśnienia silikonu (fot. 4.).



Fot. 4. Silikon uniwersalny Tytan pod działaniem pleśni *Alternaria alternata*

Zaszczepiona na próbce silikonu pleśń *Mucor spp.* już od 4. dnia pojawiła się na pożywce. Do 18. dnia obserwacji grzyb zajął całą pożywkę i w trzech miejscach styku zauważono próby wrosnięcia w silikon, ale nie zaobserwowano „wspinania się” na silikon.

Silikon sanitarny Tytan był odporny na działanie pleśni *Rhizopus spp.* Grzyb rozwijał się na pożywce już od 4. dnia prowadzonych obserwacji i pomimo prób porośnięcia silikonu ostatecznie próbka okazała się „niezjadliwa” dla pleśni.

Pleśń *Aspergillus niger* już w 14. dniu prowadzenia hodowli zaatakowała próbkę. Zaobserwowano słaby wzrost grzyba na silikonie. Mimo powtórnego zaszczepienia zarodnikami do 7. dnia II etapu badania pleśń zajęła zaledwie bardzo małą powierzchnię próbki.

Próbki niezainfekowane

Jednocześnie z zakażonymi silikonami wstawiono do cieplarki próbki kontrolne. Były to próbki silikonów położone na pożywkach, ale niezainfekowane zawiesiną mikroorganizmów.

Tylko w przypadku silikonu uniwersalnego Soudal nie zaobserwowano wzrostu jakichkolwiek drobnoustrojów na płytce ani na silikonie. Na silikonie sanitarnym Soudal od 7. dnia pojawiły się żółte bakterie, które od tego momentu rozpoczęły gwałtowny wzrost. Ponadto 12. dnia badania zaobserwowano na pożywce rozwój pleśni. Do końca doświadczenia grzyb nie zbliżył się do silikonu, a z upływem czasu kolonie bakterii pociemniały i czuć było nieprzyjemny zapach.

Na silikonie uniwersalnym i sanitarnym Tytan wystąpił niewielki wzrost bakterii. Bakterie umiejscowiły się na granicy pożywki i próbki silikonu uniwersalnego. W przypadku silikonu sanitarnego była to biała kolonia, która rozpoczęła wzrost po dwóch tygodniach obserwacji.

4. Porównanie odporności mikrobiologicznej badanych silikonów

Zestawienie ocen (tab. 3.) i klas odporności (tab. 4.) pozwala uszeregować badane silikonu pod względem malejącej odporności na działanie grzybów w następujący sposób:

SODAL uniwersalny > TYTAN sanitarny > SODAL sanitarny > TYTAN uniwersalny.

Tabela 3. Zestawienie ocen badanych silikonów

Ocena odporności	Rodzaj mikroorganizmu	TYTAN uniwersalny	SODAL uniwersalny	TYTAN sanitarny	SODAL sanitarny
		<i>Trioderma viridae</i>	0	0	0*
	<i>Alternaria alternata</i>	0*	0	0*	1
	<i>Mucor spp.</i>	4	0	0*	1
	<i>Rhisopus spp.</i>	0	0	0*	0*
	<i>Aspergillus niger</i>	1	0*	1	1

Tabela 4. Zestawienie klas odporności badanych silikonów

Klasa odporności	Rodzaj mikroorganizmu	TYTAN uniwersalny	SODAL uniwersalny	TYTAN sanitarny	SODAL sanitarny
		<i>Trioderma viridae</i>	1	1	1
	<i>Alternaria alternata</i>	1	1	1	2
	<i>Mucor spp.</i>	3	1	1	2
	<i>Rhisopus spp.</i>	1	1	1	1
	<i>Aspergillus niger</i>	2	1	2	2

5. Wnioski

1. Silikon uniwersalny Soudal był odporny na wszystkie mikroorganizmy użyte w badaniach.
2. Na silikonie sanitarnym Soudal obserwowano wzrost trzech gatunków pleśni: *Alternaria alternata*, *Mucor spp.*, *Aspergillus niger*, stosowanych w badaniach. Dodatkowo na silikonach obserwowano wzrost charakterystycznych żółtych kolonii bakterii.
3. Silikon uniwersalny Tytan jest nieodporny na wzrost pleśni z rodzaju *Mucor spp.* Nie wpływa także hamująco na rozwój bakterii, które obserwowano na powierzchni silikonu.

4. Na silikonie sanitarnym Tytan zaobserwowano rozwój pleśni z gatunku *Aspergillus niger*. Na rozwój pozostałych rodzajów grzybów silikon wpływał hamująco.
5. W dalszych badaniach odporności silikonów na korozję mikrobiologiczną należałoby zwiększyć liczbę gatunków testowanych mikroorganizmów. Norma, wg której prowadzono badanie, uwzględnia wyłącznie grzyby pleśniowe, natomiast powszechnie obserwuje się również rozwój innych mikroorganizmów na stosowanych silikonach używanych w pomieszczeniach o podwyższonej wilgotności powietrza, co objawia się przebarwieniami widocznymi gołym okiem.

Literatura

1. Rościszewski P., Zielecka M., *Silikony: właściwości i zastosowanie*. WNT, Warszawa 2002
2. Zyska B., *Zagrożenia biologiczne w budynku*. Arkady, Warszawa 1999
3. PN-85/C-89080: *Oznaczanie odporności na działanie grzybów pleśniowych*
4. Grabińska-Łoniewska A., Kańska Z., *Atlas grzybów mikroskopowych*. Wydawnictwa Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1990

MICROBIOLOGICAL STUDY OF RESISTANCE OF SILICONE MATERIALS APPLIED IN BUILDING INDUSTRY

Summary

The paper presents the results of tests on fungicidal properties of four most popular silicon materials applied in sanitary systems. The study on fungicidal resistance was performed according to Polish Standard, PN-85/C-89080. Microbes isolated from atmospheric air were utilized. On the basis of both microscopic and macroscopic observations it was found the Soudal universal silicone material exhibits best fungicidal properties.

Złożono w Oficynie Wydawniczej w czerwcu 2007 r.

